

**Pronóstico de la Demanda del Transporte Aéreo en Aeropuerto
Distribuidor. Aplicación al caso de Aeropuerto Internacional El Dorado**

Presentado por:

Juan Diego Mogollón Morales

Trabajo para optar al título de:

Ingeniero Civil

Par académico:

Prof. Estad. José Fernando Zea Castro

Director:

Prof. Dr. Ing. Oscar Eduardo Díaz Olariaga

Universidad Santo Tomás

División de Ingenieras

Facultad De Ingeniería Civil

Bogotá Colombia

2020

Resumen

El crecimiento del tráfico aéreo en Colombia se ha reforzado desde la década de 1990 por una política pública de liberalización del espacio aéreo, también, por el direccionamiento de la inversión pública y privada hacia la modernización y actualización de las infraestructuras aeroportuarias. En el sector aerocomercial, en este mismo periodo, se privatizó la línea aérea de bandera de Colombia (Avianca) e ingresaron al mercado nuevos operadores aéreos nacionales e internacionales. “Desde el año 2012 las tarifas aéreas están totalmente desreguladas. Como resultado de las políticas públicas y de inversión en las últimas dos décadas y media el transporte de pasajeros en Colombia creció un 863%” (Díaz, O. 2017). Para atender esta demanda tan excesiva, se realizó el siguiente proyecto de grado en el que se llevó a cabo una previsión de la demanda del transporte aéreo (pasajeros, carga aérea y operaciones) a mediano plazo (4 años). Lo anterior, con un análisis econométrico ejecutado con el Software de punta RStudio. El propósito de la previsión o pronóstico se realiza para un aeropuerto tipo "distribuidor" (“hub” en inglés), por esto, se tomó como caso de estudio (o de aplicación) el Aeropuerto Internacional de Bogotá-ElDorado (en adelante BOG), el cual cumple con dichas características y con la necesidad de su previsión del crecimiento en el transporte aéreo, siendo la capital y el principal Aeropuerto de Colombia. Pero tanto las previsiones de los planes maestros de BOG como varios estudios técnicos, estiman un crecimiento de la demanda que la capacidad del aeropuerto actual (y futura) no podrán acomodar.

Palabras Clave: transporte aéreo, distribuidor, pronóstico, modelo econométrico y variables.

Abstract

The growth of air traffic in Colombia has been reinforced since the 1990s by a public policy of liberalization of airspace, and by the redirection of public and private investment towards the modernization and updating of airport infrastructures. In the aerospace sector, and in this same period, the Colombian flag airline (Avianca) was privatized and new national and international air operators entered the market. “Since 2012, air fares are totally deregulated. As a result of public and investment policies in the last two decades and means of transportation of passengers in Colombia grew by 863 %” (Diaz, O. 2017). To meet this excessive demand, the next degree project in which a forecast of the demand for air transport (passengers, air cargo and operations) will be carried out in the short term (4 years) with an economic analysis executed with the Software RStudent. The purpose of the forecast or forecast that is made for an airport type “distributor” (“hub” in English), therefore the International Airport of Bogotá-ElDorado (hereinafter) will be taken as a case study BOG), which meets various characteristics and the need for its forecast of growth in air transport, being the capital and the main airport of Colombia. But both the forecasts of BOG's master airplanes and several technical studies estimate a growth in demand that the current (and future) airport capacity cannot accommodate.

Keywords: air transport, distributor, forecast, econometric model and variables.

Tabla de Contenido

Introducción.....	9
Formulación del problema.....	10
Justificación.....	11
Objetivos.....	12
Generales	12
Específicos.....	12
Capítulo 1.	13
Marco teórico.....	13
Teoría Aeroportuaria	13
Transporte aéreo	13
Transporte aéreo comercial.....	15
Características del transporte aéreo comercial.....	16
Organismos que regulan el transporte aéreo.....	19
Estrategias de las aerolíneas en el transporte aéreo	20
Asociaciones y alianzas de las aerolíneas:.....	22
Estructura de red	22
Aeropuerto distribuidor “hub”	23
Dominio del concentrador:	24
La ubicación de un centro	24
Definición de conectividad	25
Tráfico aéreo	26
Recopilación de datos (inventario)	28
Estudio de tráfico	28
Pronóstico	29
Previsión	30
¿Por qué prever?	30
Pronóstico de horizontes	31
Pronósticos de la demanda en el transporte aéreo	32
Plan maestro aeroportuario (PMA):.....	33
Teoría Econométrica.....	33
Modelos estadísticos (modelos de pronóstico cuantitativos).....	34
Proyección	36
Ciclo económico	37

El análisis econométrico	37
Modelos de distribución del tráfico aéreo	38
Herramientas (software) para el cálculo de pronósticos	41
El entorno R.	42
Estadística con R.....	43
Presentación del caso de estudio	45
Ubicación	45
Aerolíneas pertinentes	50
Terminales	55
Centro de conexiones “hub”	61
BOG, el hub de la Región Andina	66
Tráfico aéreo: Información histórica BBDDs (1979-2018) de BOG	68
Datos históricos de tráfico aéreo pasajeros comerciales.....	69
Datos históricos de carga aérea transportada.....	72
Datos históricos de operaciones totales aéreas	74
Capítulo 2.	77
Análisis Pronósticos de los Planes Maestros de BOG.....	77
Actualización del Plan Maestro 2011 (2014)	77
Proyección pasajeros nacionales (Pax. Nac) según los escenarios.....	81
Proyección pasajeros internacionales (Pax.Intl) según los escenarios	81
Proyección carga aérea nacional (Crg. Nac).....	82
Proyección carga aérea internacional (Crg. Intl)	83
Proyección para operaciones aéreas totales (nacional más internacional)	85
Plan Maestro para el proyecto de infraestructura ElDorado II (2015)	85
Proyección pasajeros nacionales (Pax.Nac)	87
Proyección pasajeros internacionales (Pax. Intl)	88
Proyección carga aérea nacional (Crg.Na)	89
Proyección carga aérea internacional (Crg. Intl)	89
Proyección para operaciones aéreas totales (O.A).....	90
Metodología de pronóstico de la demanda aeronáutica de BOG a mediano plazo	90
Estadísticos relevantes del modelo de regresión múltiple	97
Datos	98
Resultados.....	99
Pasajeros Nacionales	101

Pronóstico pasajeros nacionales (Pax.Nac) de BOG	103
Pasajeros Internacionales.....	104
Pronóstico pasajeros internacionales (Pax.Intl) de BOG.....	106
Carga aérea Nacional	107
Pronóstico carga aérea nacional (Crg. Nac) de BOG	109
Carga aérea Internacional	110
Pronóstico carga aérea internacional (Crg. Intl) de BOG	112
Operaciones Aéreas totales	113
Pronóstico operaciones aéreas totales (O.A) de BOG	115
Comparativa de pronósticos	116
Conclusiones.....	120
Recomendaciones	123

Lista de Figuras

Figura 1. El sistema de transporte aéreo y su entorno	14
Figura 2. Hub and Spoke	21
Figura 3. Interconexiones: clusters o grado de interconexión	27
Figura 4. Ficha técnica de BOG.....	48
Figura 5. Ubicación de BOG en la ciudad de Bogotá-Cundinamarca.. ..	49
Figura 6. Destinos por aerolíneas de BOG.	53
Figura 7. Terminales Nac/Interl de pasajeros y de carga aérea	55
Figura 8. Vista Panorámica Terminal 1 (T1) de BOG.....	56
Figura 9. Aerolíneas con servicio en la terminal 1 (T1)	57
Figura 10. Vista Panorámica Terminal 2 (T2 o TPA).	58
Figura 11. Aerolíneas con servicio en la terminal 2 (T2).	58
Figura 12. Terminales de Carga (TC2) y (TC3)	60
Figura 13. Servicios aéreo directo internacional de BOG.	62
Figura 14. Servicios aéreo directo nacional de BOG con códigos IATA.....	65
Figura 15. Estadísticas - Pasajeros comerciales de BOG.	70
Figura 16. Estadísticas - Pasajeros comerciales de BOG.	71
Figura 17. Estadísticas – Carga Transportada de BOG	72
Figura 18. Estadísticas – Carga aérea Transportada de BOG.....	73
Figura 19. Estadísticas – Operaciones totales aéreas de BOG	75
Figura 20. Proyecciones de pasajeros nacionales observados por PM 2014.. ..	81
Figura 21. Proyecciones de pasajeros internacionales observados por PM 2014.....	81
Figura 22. Proyecciones de carga nacional observados por PM 2014.....	83
Figura 23. Proyecciones de carga aérea internacional observados por PM 2014.....	84
Figura 24. Proyecciones de operaciones aéreas totales métricas observados por PM 2014.....	85
Figura 25. Proyecciones de pasajeros nacionales observados por PA 2015.....	87
Figura 26. Proyecciones de pasajeros internacionales observados por PA 2015.	88
Figura 27. Proyecciones de carga aérea nacional observados por PA 2015.....	89
Figura 28. Proyecciones de carga aérea internacional observados por PA 2015.	89
Figura 29. Proyecciones de operaciones aéreas totales métricas observados por PA 2015.	90
Figura 30. Pronóstico de pasajeros nacionales a mediano plazo	103
Figura 31. Información histórica BBDDs (1979-2018) de Pax Nac junto con el pronóstico de investigación de pasajeros nacionales a mediano plazo (2019-2023)	103
Figura 32. Pronóstico de pasajeros internacionales a mediano plazo.....	106
Figura 33. Información histórica BBDDs (1979-2018) de Pax Intl junto con el pronóstico de investigación de pasajeros internacionales a mediano plazo (2019-2023)	106
Figura 34. Pronóstico de carga nacional a mediano plazo.....	109
Figura 35. Información histórica BBDDs (1979-2018) de Crg. Nac junto con el pronóstico de investigación de carga internacional a mediano plazo (2019-2023).....	109
Figura 36. Pronóstico de carga aérea internacional a mediano plazo	112
Figura 37. Información histórica BBDDs (1979-2018) de Crg. Intl junto con el pronóstico de investigación de carga aérea internacional a mediano plazo (2019-2023)	112
Figura 38. Pronóstico de operaciones aéreas a mediano plazo.....	115
Figura 39. Información histórica BBDDs (1979-2018) de O.A junto con el pronóstico de investigación de operaciones aéreas totales a mediano plazo (2019-2023).....	115

Figura 40. Validación de supuestos modelo pasajeros nacionales.	134
Figura 41. Validación de supuestos modelo pasajeros internacionales.	135
Figura 42. Validación de supuestos modelo carga nacional.	135
Figura 43. Validación de supuestos modelo carga internacional.	136
Figura 44. Validación de supuestos modelo operaciones totales aéreas.	137

Lista de Tablas

Tabla 1. Términos de previsión por industria	31
Tabla 2. Trayectos de BOG a destinos directos.....	63
Tabla 3. Características del tráfico aéreo	76
Tabla 4. Resultados de Modelo econométrico 1.....	102
Tabla 5. Resultados de Modelo econométrico 2.....	105
Tabla 6. Resultados de Modelo econométrico 3.....	108
Tabla 7. Resultados de Modelo econométrico 4.....	111
Tabla 8. Resultados de Modelo econométrico 5.....	114
Tabla 9. Comparación de resultados (dif. %)	118

Lista de Ecuaciones

Ecuación 1. Contabilidad del PIB.....	39
Ecuación 2. Modelo de regresión múltiple	92
Ecuación 3. Función con máxima verosimilitud (Chi2).....	93
Ecuación 4. Polinomio cuadrático para regresión local.....	94
Ecuación 5. Modelo econométrico 1 Pax Nac.....	102
Ecuación 6. Modelo econométrico 2 Pax Intl.....	105
Ecuación 7. Modelo econométrico 3 Crg Nac	108
Ecuación 8. Modelo econométrico 4 Crg Intl.....	111
Ecuación 9. Modelo econométrico 5 O.A (Nac/Intl).....	114

Introducción

Para la previsión del transporte aéreo de un aeropuerto es fundamental prever la demanda futura de tráfico aéreo, ya que las inversiones en infraestructura aeroportuarias son muy elevadas y deben ser planificadas con suficiente antelación. Por otro lado, la demanda de transporte aéreo, a nivel mundial, viene creciendo con una dinámica alta y sostenida desde hace tres décadas y Colombia no es la excepción a esa dinámica, ya que el crecimiento experimentado en los últimos 18 años, con BOG a la cabeza, ha sido superior a la media mundial (e incluso regional) en dicho periodo. Por tal motivo se realiza una previsión de la demanda del transporte aéreo (pasajeros, carga aérea y operaciones) a mediano plazo (4 años). Dicha previsión o pronóstico se realiza para un aeropuerto tipo "distribuidor" (o *hub* en inglés), por ello se tomará como caso de estudio (o de aplicación) BOG, que cumple con dicha característica. Como inicio del proyecto, se trata conceptos y/o definiciones que se refieren al transporte aéreo y la gestión necesaria para la previsión de la demanda en un aeropuerto distribuidor "hub", con el fin de conocer su planeación acerca de lo que se prevé. Además, utilizando un adecuado método estadístico (Análisis econométrico) y un potente software de cálculo (Software de punta RStudio), también, aplicando criterios propios del transporte aéreo, se realizará una previsión de la demanda de transporte aéreo a mediano plazo. Para ello será necesario la utilización de datos históricos de tráfico aéreo relacionadas (que ya se disponen, provistas por AEROCIVIL), previo tratamiento y depuración de las mismas. Por último, se compara los resultados de los pronósticos a mediano plazo de la presente investigación, con el pronóstico de un artículo oficial presentado en el XIII congreso Colombiano de transporte y tránsito titulado como Prognosis de tráfico aéreo mediante DLM (Dynamic Linear Models).

Del aeropuerto de caso de estudio BOG se dispone datos de tráfico aéreo (pasajeros, carga aérea y operaciones o movimientos aéreos) de las últimas cuatro décadas (1979-2018), situación similar con datos socio-económicos de la ciudad a la que sirve al aeropuerto de Bogotá-Colombia (PIB, PIB/cápita, población, etc.) (DANE, 2019; Banco de la República de Colombia, 2019).

Formulación del problema

El sistema de transporte aéreo tiene una "estructura de red" donde los nodos de dicha compleja red están representados por los aeropuertos. Dicha estructura de red es también conocida como hub-and-spoke. El modelo de distribución hub-and-spoke ("concentrar y distribuir") es un sistema de conexiones que permite reducir el número de rutas para comunicar los aeropuertos entre sí. Consiste en concentrar el tráfico en determinados aeropuertos de gran capacidad denominados "distribuidores" (o hubs) que se encargan de enlazar los de menor capacidad o importancia, spokes.

Los beneficios del uso de este tipo de distribución del tráfico son múltiples, además, de mejorar la eficiencia de las comunicaciones y permite concentrar determinadas operaciones que requieren numerosos recursos como el control del flujo de pasajeros y equipajes, para aeropuertos de gran capacidad. Este hecho libera a los aeropuertos más pequeños de llevar a cabo operaciones puntuales que su sistema aeroportuario no es capaz de llevar a cabo. Además, facilita la creación de aeropuertos nuevos. Por otro lado, este sistema de conectividad entre aeropuertos presenta diversos problemas relativos a la flexibilidad de las operaciones. Lo anterior, se evidencia en retrasos tanto en el aeropuerto distribuidor como en los exteriores que pueden dar lugar a retrasos en toda la red. Además, la programación del tráfico puede ser muy

exigente para los controladores del hub. Se requiere una cuidadosa sincronización para mantener la red funcionando de manera eficiente.

El transporte aéreo en Colombia presenta un sistema de conectividad hub-and-spoke, donde el aeropuerto distribuidor “hub” dominante (o principal) es BOG. Entonces, se llevará a cabo una previsión de la demanda de transporte aéreo (pasajeros, carga aérea y operaciones (despegues y aterrizajes) a mediano plazo (4 años), en BOG, elegido como caso de estudio o de aplicación.

Justificación

Para la planificación del desarrollo de un aeropuerto es fundamental prever la demanda futura de tráfico, ya que las inversiones en infraestructura aeroportuarias son muy elevadas y deben ser planificadas con suficiente antelación. Por otro lado, la demanda de transporte aéreo, a nivel mundial, viene creciendo con una dinámica alta y sostenida desde hace tres décadas, y el transporte aéreo en Colombia no es la excepción a esa dinámica, donde el crecimiento experimentado en los últimos 18 años, con BOG a la cabeza, ha sido superior a la media mundial (e incluso regional) en dicho periodo. Estos dos factores claves ya mencionados, obligan a actualizar permanentemente la previsión de la demanda en un aeropuerto, relevante el de un aeropuerto distribuidor, como es el caso de BOG (el más importante del país), dicho esto, es necesario realizar dicha previsión, ya que los últimos pronósticos conocidos de BOG datan de hace 5-6 años. Por último, como BOG ya no se ampliará más (o al menos eso afirman las autoridades públicas/aeronáuticas, por ello ya está en marcha la construcción de nuevo aeropuerto, conocido como el Dorado II).

Objetivos

Generales

Realizar el pronóstico de transporte aéreo (pasajeros, carga aérea y operaciones) a mediano plazo (4 años) en un aeropuerto distribuidor, que para el presente proyecto se adoptará como tal (caso de aplicación) al Aeropuerto Internacional de Bogotá-El Dorado (BOG).

Específicos

- 1) Presentación del caso de estudio: BOG.
- 2) Análisis de pronósticos precedentes realizados para BOG.
- 3) Depuración y configuración de BBDD (Base de datos-Recopilación de inventario), tanto aeronáutica como también socio-económicas.
- 4) Desarrollo de los cálculos de pronósticos (mediante la metodología y herramienta seleccionadas).
- 5) Presentación de los resultados y su análisis.

Capítulo 1.

Marco teórico

Teoría Aeroportuaria

Transporte aéreo

El transporte aéreo es uno de los principales pilares del transporte moderno. La fig.1 proporciona una primera visión de este complejo sistema. Dado que el transporte aéreo está destinado a mover pasajeros y carga, estos elementos se colocan en el centro del sistema: aeronaves como aviones de transporte de ala fija, helicópteros, sistemas no tripulados, etc. que son desarrollados y producidos por los fabricantes como las plataformas de vehículos para el transporte aéreo. Los aviones son operados por aerolíneas, que proporcionan transporte aéreo como un producto de servicio. Para habilitar este producto de servicio, la gestión del tránsito aéreo “Air Traffic Management” (ATM) segura y eficiente realizada por los servicios de navegación aérea “air Navigation Services” (ANS) debe garantizar el flujo seguro y programado de las aeronaves en todo el mundo. Los aeropuertos se entienden como la interfaz entre el transporte terrestre y aéreo, que proporcionan la infraestructura para esta interfaz. (Schmitt, 2016, p.1)

Figura 1. Entorno del transporte aéreo

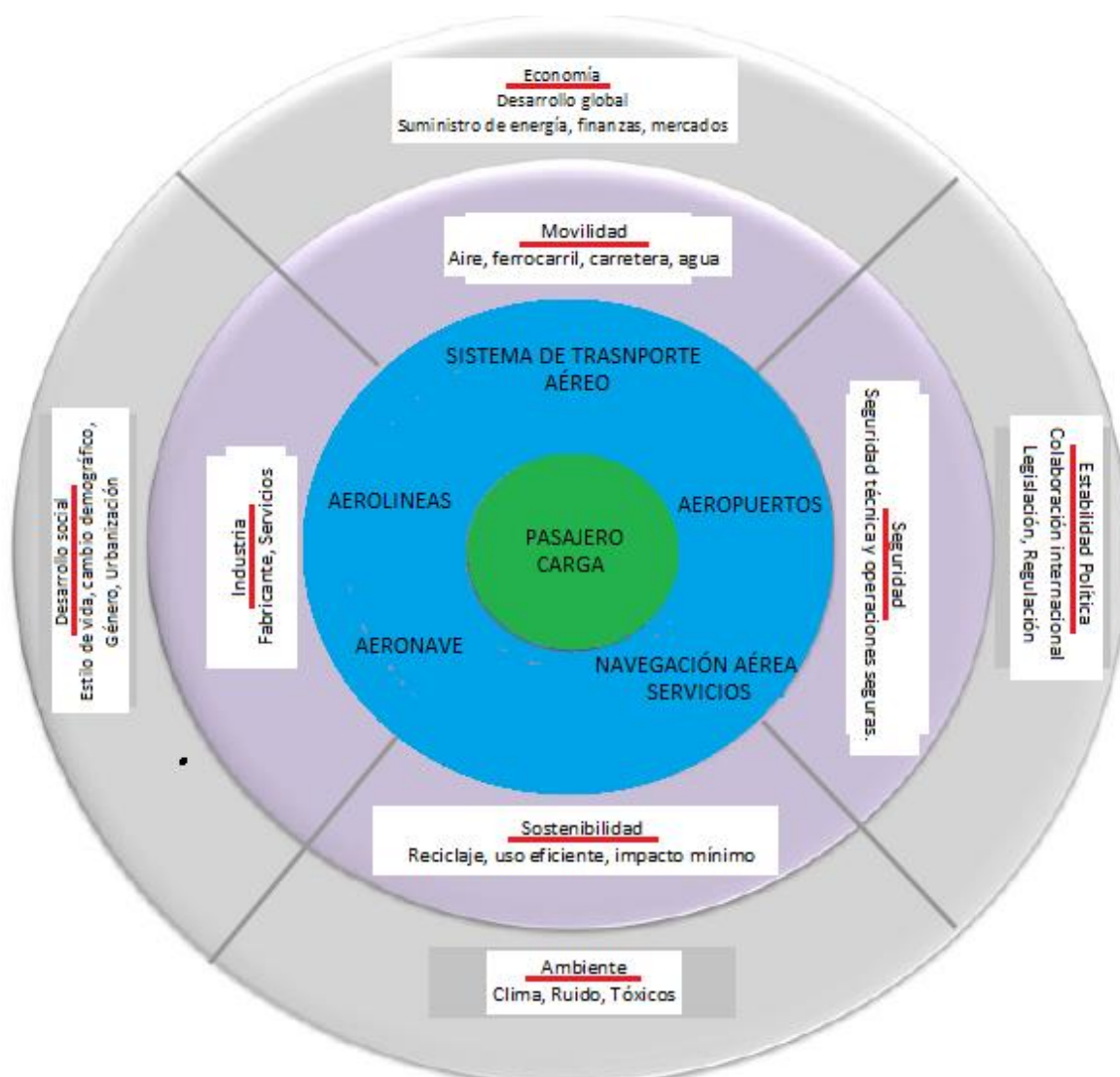


Figura 1. El sistema de transporte aéreo y su entorno. Fuente: Schmitt, D. & Gollnick, V. (2016). Air Transport System.

Todas las operaciones de aviación, civil y militar y la aviación general están influenciadas principalmente por las expectativas y desarrollos de la sociedad. La política en general, representada por las autoridades, desarrolla y establece el marco legal y regulatorio para permitir el transporte aéreo. La economía, como clave para la prosperidad y el bienestar

de las personas, influye en el transporte aéreo. La provisión de una industria del transporte aéreo seguro, eficiente y confiable se ha convertido en uno de los factores más importantes para lograr el crecimiento económico mundial.

Más de 100 años después de la primera línea aérea regular del mundo en 1914, la industria del transporte aéreo se ha convertido en el modo de alta velocidad más importante del mundo de los viajes de larga distancia. Cada año, más de 3,3 mil millones de pasajeros y 50 millones de toneladas de carga aérea (valor de más de US \$ 6,4 billones de dólares) se vuelan en 37,4 millones de vuelos programados en los siete continentes. El transporte aéreo está impulsado por los procesos de globalización, la intensificación del comercio internacional, y el creciente intercambio cultural y social, y ha sido responsable de cambios en los patrones de la migración internacional, el comercio y el turismo. (Budd & Ison, 2017, p.1)

Transporte aéreo comercial

El transporte aéreo comercial describe el transporte programado o no programado de pasajeros, carga o correo a cambio de ingresos. El transporte aéreo comercial, que está disponible para los miembros del público es distinto de la aviación militar, que se refiere al uso de aeronaves especializadas por parte de los estados nacionales por razones de defensa y seguridad nacional y de la aviación general, que se refiere a las actividades recreativas, agrícolas y uso instructivo de aeronaves civiles que no están disponibles para uso público y que no vuelan a cambio de una remuneración. (Budd & Ison, 2017, p.1)

A pesar de esta clasificación y definición aparentemente directa, la industria del transporte aéreo comercial incluye una amplia gama de enfoques comerciales y prácticas operativas, incorporando todo, desde aviones A380 de 500 asientos volados por aerolíneas líderes entre los principales aeropuertos hasta vuelos chárter estacionales y pequeños aviones monomotor que sirven algunas de las regiones más remotas de la tierra.

Características del transporte aéreo comercial

El transporte aéreo comercial se caracteriza por una serie de factores que tienen implicaciones importantes para la gestión de la industria. Según Budd & Ison (2017), afirman que:

Algunos de estos operan a nivel macro: internacional o nacional, mientras que otros ocurren a nivel organizacional. Los factores a nivel macro incluyen:

- La industria del transporte aéreo estuvo históricamente sujeta a una estricta regulación y control, que ha dado forma a cómo se ha desarrollado la industria global. Si bien las políticas de desregulación y liberalización, que comenzaron en 1978 en los EE.UU., han sometido progresivamente al mercado a una mayor competencia y han estimulado el desarrollo de nuevos modelos comerciales innovadores, las restricciones a los derechos del servicio aéreo y las restricciones de propiedad extranjera permanecen en muchos mercados.
- El producto del transporte aéreo se deriva de la demanda en la naturaleza. Esto significa que: la mayor parte de la demanda surge de la necesidad de que los pasajeros, la carga o el correo estén en otro lugar, no porque el viaje real entre el origen y el destino se desee por sí mismo. Lo anterior, da como resultado variaciones cíclicas y estacionales en la demanda entre y dentro de años y entre

aeropuertos individuales que crean picos en el tráfico, lo que hace que la gestión de los activos materiales y recursos humanos sea inherentemente desafiante. Debido a la naturaleza derivada de la demanda de la industria, es vulnerable a las conmociones externas, como la volatilidad del precio del combustible, los conflictos civiles, los brotes de enfermedades, las amenazas terroristas (que han llevado a la introducción de nuevas intervenciones de seguridad), las erupciones volcánicas y la cobertura mediática de accidentes de aviación, todos los cuales actúan para suprimir la demanda,

- El producto de la aerolínea es un bien de consumo de un solo uso. Como tal, una vez que una aeronave está en el aire, no se pueden vender asientos vacíos, por lo que las aerolíneas deben gestionar la demanda y sus rendimientos cuidadosamente para utilizar su inventario de manera eficiente,
- La desregulación y la liberalización han cambiado los patrones de propiedad de aerolíneas y aeropuertos. Muchas aerolíneas ya no son de propiedad estatal, pero la situación con respecto a la propiedad del aeropuerto es completamente más compleja, ya que algunos países han tomado medidas para privatizar total o parcialmente sus operadores aeroportuarios, mientras que otros han optado por retener al sector público,
- A pesar de varias décadas de desregulación y liberalización del mercado, el transporte aéreo sigue siendo esencialmente un mercado oligopolístico dominado por un pequeño número de aerolíneas (a menudo históricamente dominantes) y alianzas de aerolíneas. En agosto de 2015, las tres principales alianzas mundiales de aerolíneas: OneWorld, SkyTeam y Star Alliance,

representaron el 54% de todos los asientos de aerolíneas en todo el mundo. El sector del transporte aéreo comercial es igualmente oligopolístico, aunque tanto en el sector de pasajeros como en el de carga aérea hay espacio para operadores especializados, entre los que se especializan en atender mercados a medida en regiones remotas.

- Las operaciones de transporte aéreo tienen un impacto social y ambiental en términos de ruido, vibración, olor, contaminación del aire y congestión del acceso al suelo (p.3).

Todos estos factores de nivel macro crean un patrón complejo de regulación internacional, propiedad y operación. Así como afirman Budd & Ison (2017):

Cuando este patrón complejo se compara con la creciente demanda global de fuga, el aumento de la competencia y la saturación del mercado, requiere una toma de decisiones y una gestión informada a nivel micro de la organización en las siguientes áreas:

- Seleccionar el modelo de negocio de aerolínea más apropiado para el mercado, teniendo en cuenta el entorno competitivo y las condiciones prevalecientes del mercado,
- La adquisición de aeronaves, la selección de flotas y las finanzas son requisitos previos para operaciones eficientes, y diferentes modelos de negocio se prestan a enfoques particulares,
- La provisión y utilización de infraestructura de acceso a pista, terminal y tierra son vitales para operaciones seguras y eficientes, y la relación entre

las líneas aéreas y los aeropuertos es integral para la gestión efectiva de estos recursos escasos y mitigar sus efectos ambientales adversos,

- Gestión de precios e ingresos de productos de aerolíneas y aeropuertos para maximizar las ganancias y gestionar los rendimientos.
- Programación de aeronaves y tripulación para maximizar la utilización de los recursos y minimizar los costos,
- Toma de decisiones tácticas con respecto al uso del espacio aéreo y la selección de rutas de vuelo óptimas para garantizar la seguridad, minimizar costos, maximizar la eficiencia y reducir los efectos de externalidad (p.4).

Organismos que regulan el transporte aéreo

Se citan las más importantes:

- OACI (Organización de la Aviación Civil Internacional): agencia especializada en la generación directa o indirecta de normas provenientes del ámbito internacional. Creada en el convenio de Chicago de 7 de diciembre 1944.
- IATA (Asociación Internacional del Transporte Aéreo): fundada en 1945, con sede en Montreal. Agrupa a más de 130 compañías de líneas regular en todo el mundo.
- CEAC (Comisión Europeas de Aviación Civil): creada en abril de 1954. Es una comisión de carácter consultivo, que posteriormente tienen que aprobar los estados miembros.
- AITAL (Asociación Internacional del Transporte Aéreo Latinoamericano): agrupa las diferentes compañías aéreas de los países Latinoamericanos que prestan servicios internacionales. Su finalidad es la de mantener una estabilidad económica entre todas

las compañías que la componen. Fundada en 1991, el 11 de julio en la ciudad de México.

Estrategias de las aerolíneas en el transporte aéreo

Una aerolínea, línea aérea o compañía aérea es una empresa que se dedica al transporte de pasajeros o carga. Muchas líneas aéreas tienen participación accionarial del gobierno local; son las llamadas «abanderadas» o «líneas de bandera» que generalmente poseen el monopolio de los vuelos locales.

El sector de las aerolíneas tiene la reputación de no ser muy rentable. Con el tiempo, las aerolíneas tuvieron años con ganancias y también años de pérdidas, debido a una fuerte dependencia de las aerolíneas en el desarrollo económico y los impactos del progreso tecnológico. Por ende, los gerentes de líneas aéreas deben buscar estrategias que les permitan ser más eficientes principalmente aplicando economías de escala a través del tamaño de su propia empresa o cooperando con otras aerolíneas en alianzas. Las redes permiten operar de manera más eficiente y realizar efectos netos en entidades más grandes. Tienen un impacto en la elección de modelos de negocios de aerolíneas que influyen en el margen de beneficio y el concepto de avión de una aerolínea. (Schmitt & Gollnick, 2016)

Las gestiones de red o las operaciones aéreas de las aerolíneas «abanderadas» tuvieron su origen histórico en el deseo nacional de vincular países extranjeros a largas distancias, generalmente ofrecen vuelos de largo alcance entre países y continentes. Tales vuelos se realizan hoy en día con aviones de gran capacidad como el A380 o B747-8. Para llenarlos tanto como sea posible, generalmente se operan desde un conjunto limitado de aeropuertos muy grandes. Como esos aeropuertos nunca tienen un área de captación, que proporcione

suficientes pasajeros, los pasajeros deben ser transportados y redistribuidos desde estos aeropuertos muy grandes: El Aeropuerto Central “hub”, fig. 2. Esta lógica conduce al llamado concepto de red de aerolíneas "hub and spoke", que es típico de los transportistas de bandera.

Figura 2. Hub and Spoke

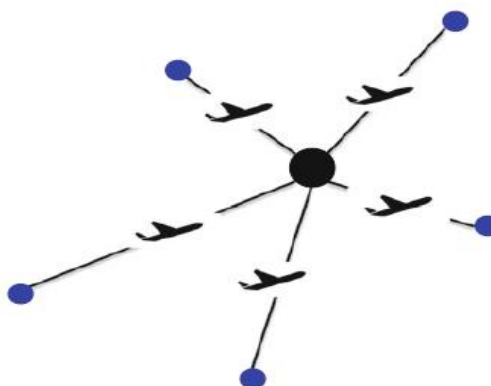


Figura 2. Concentrar y distribuir “Hub and Spoke. Fuente: Budd, L. & Ison, S. (2017). Air Transport Management.

El principio de dicha red es alimentar a los aeropuertos centrales con pasajeros utilizando aviones de corto alcance. Esos aviones de corto alcance recogen personas en un área determinada, que pueden tener diferentes objetivos de destino y llevarlos al centro. Aquí, los pasajeros pueden trasladarse a los vuelos de largo alcance, que los llevan al destino final. Un buen concentrador presenta un diseño con muchas conexiones y un tiempo de transferencia corto. (Stoll, U, 2004)

Asociaciones y alianzas de las aerolíneas:

Dadas las fuertes limitaciones de las actividades de fusiones y adquisiciones en la industria de las aerolíneas internacionales, Stoll (2004) afirma que: “la formación de alianzas refleja fundamentalmente los esfuerzos de la industria de las aerolíneas para desarrollar su estructura global basada en la red dentro de los límites impuestos por las regulaciones gubernamentales” (p.90). En los últimos años, con la tendencia hacia una creciente globalización de la industria de las aerolíneas, la formación de alianzas de aerolíneas ha cobrado impulso como un medio para seguir siendo competitivos y obtener acceso a un mercado global que es demasiado grande para ser dominado por cualquier aerolínea existente.

Actualmente, la mayoría de las principales aerolíneas están involucradas en la alianza.

Las tres grandes alianzas, Star Alliance, One World y Sky Team, contienen casi las tres cuartas partes del tráfico aéreo programado en todo el mundo (54% a diciembre de 2016). (Wittmer & Bieger, 2011, p. 80)

Estructura de red

Una red se puede definir como una colección de nodos y borde. Las redes de líneas aéreas generalmente consisten en conexiones de tráfico aéreo (bordes) de un aeropuerto a otro (nodos). Las principales características que especifican las redes de tráfico aéreo son parámetros como: el tamaño, la frecuencia y la conectividad. La gestión de la red de la aerolínea tiene enlaces importantes con los atributos del servicio, como la puntualidad y la cobertura geográfica. Existen dos estrategias básicas relacionadas con el desembolso de una red en el transporte aéreo: un sistema de concentrador y radio “hub and spoke” (concentrador único o concentrador múltiple) o una red punto a punto. (Wojahn, 2008, p.80)

Aeropuerto distribuidor “hub”

El concepto de aeropuerto “hub” corresponde a un modelo de aeropuerto, siendo considerado como un punto de descongestión o interconexiones para el sistema de transporte aéreo, como lo es en el tráfico de larga distancia (donde el aeropuerto “hub” son el origen de vuelos directos hacia destinos lejanos), también, como el transporte aéreo de corta distancia (donde los aeropuertos “hub” son el destino de vuelos que tienen como origen ciudades cercanas que ejercen alimentadores del tráfico de larga distancia del aeropuerto “hub”). En un aeropuerto “hub” resulta fundamental reducir el tiempo de conexión entre vuelos, de modo que, interesa minimizar el recorrido que los pasajeros y carga deben realizar para pasar de un avión a otro. (Schmitt & Gollnick, 2016)

Los aeropuertos “hub” atraen dinámicas del transporte aéreo, como lo son volúmenes de pasajeros y de aviones, de igual forma, estos aeropuertos deben ser grandes centros prestadores de servicios aeroportuarios (transporte de pasajeros, estacionamiento de los aviones, sistemas de aduana, control aéreo, etc.). También es de suma importancia, la infraestructura para el funcionamiento de los servicios aeroportuarios debe constar de 7 elementos básicos: pistas de aterrizaje, áreas para la carga de combustible y para el mantenimiento de las aeronaves, calles de rodaje, torre de control, posiciones de aviones, muelles de embarque, el edificio de la terminal. Por otro lado, para el funcionamiento de los servicios no aeroportuarios la infraestructura del aeropuerto debe contar con locales comerciales, estacionamientos de vehículos, oficinas de aerolíneas, actividades inmobiliarias, etc. Por último, es preciso afirmar que los aeropuertos tipo “hub” atraen distintas dinámicas que se pueden traducir en importantes ingresos económicos para el operador del aeropuerto,

para la entidad reguladora, y por supuesto, para la ciudad y su entorno metropolitano y regional.

Dominio del concentrador:

Wittmer & Bieger (2011), afirman que:

Un concentrador debe tener un tamaño mínimo (número mínimo de frecuencias) para ser atractivo y, a través de esto, poder aumentar las cuotas de mercado de pasajeros. Con la frecuencia creciente de vuelos, especialmente la atracción de pasajeros de negocios también aumenta dichas cuotas ya mencionadas. La aerolínea dominante de un aeropuerto ofrece las mejores conexiones y hace que sea atractivo para otras aerolíneas utilizar el centro si hay una buena selección de vuelos de conexión. Si se vuelve demasiado grande y abarrotado, las cuotas de mercado disminuyen nuevamente. Este es el caso cuando el dominio del centro y la aglomeración del aeropuerto aumentan los tiempos de espera en el check-in y la seguridad y las distancias más largas entre las puertas. En tales casos, los pasajeros suelen considerar esos aeropuertos como aeropuertos de conexión. (p.81)

La ubicación de un centro

La ubicación de los centros debe seleccionarse según el mercado y los criterios técnicos. Los centros ubicados en áreas económicas fuertes pueden, por lo tanto, ofrecer una red más grande alimentada únicamente por su mercado interno. Los pasajeros transferidos, por el contrario, rara vez cubren los costos totales de su vuelo. En consecuencia, por razones de

rentabilidad, la proporción del traslado de pasajeros que sea aceptable para una aerolínea es limitado. Por lo tanto, como afirman Wittmer & Bieger (2011):

Muchas aerolíneas definen objetivos estratégicos para la proporción de pasajeros transferidos; por ejemplo, Swiss tiene como objetivo lograr una participación de no más del 40% en su centro de Zúrich. Dicho esto, los centros pueden aceptar una mayor proporción de pasajeros de transferencia si:

- Son relativamente baratos de operar. Las razones de esto pueden ser costos de mano de obra baratos, combustible subsidiado o bajas tarifas aeroportuarias. En consecuencia, los aeropuertos y las líneas aéreas en el medio oriente (como Emirates Airlines que vuelan desde Dubái pueden aceptar una parte considerablemente mayor del tráfico de transferencia que sus homólogos norteamericanos o europeos.
- El centro está ubicado en un continente o área comercial importante, lo que permite vuelos de conexión relativamente cortos y generalmente más baratos

Es importante destacar que la operación eficiente de un hub equivale a una pista y una capacidad de puerta lo suficientemente grande como para permitir la operación de "olas". Mientras más vuelos de llegada o salida puedan manejar un aeropuerto en una hora, más eficientes son las conexiones que se pueden ofrecer en una ola. (p.92)

Definición de conectividad

La conectividad es un factor importante para las redes de aerolíneas basadas en concentradores o “hubs”. En general, la conectividad se puede definir como el número de conexiones (o hits) por vuelo entrante. Como regla general, una mayor conectividad (y, por lo

tanto, flujos de pasajeros más grandes) da como resultado un mayor potencial para alimentar vuelos salientes.

La columna vertebral de los patrones de conectividad son siempre las conexiones de larga distancia. Los aviones de larga distancia deben ser alimentados por suficientes vuelos de conexión entrantes. Como forma especial, el "hubbing" intercontinental puede ser muy rentable, particularmente en aquellas rutas donde las largas distancias no permiten vuelos directos, como, por ejemplo, entre Europa y Oceanía. (Schmitt & Golnick, 2016, p.192)

Tráfico aéreo

Es una demanda en crecimiento exorbitante que se entiende como un efecto natural respecto a la necesidad de los distintos territorios por mantener e incrementar interconexiones y relaciones con mercados a mayor escala. Las dinámicas de interacción entre ciudades, regiones, países y continentes se constituyen en un hecho cotidiano, bajo el cual opera el mercado mundial. En términos de transporte aéreo se han empezado a desarrollar una suerte de “clusters” que reflejan el grado de interconexión entre los distintos entes territoriales. Particularmente, la fig. 3 representa la concentración de rutas y la longitud de los trayectos por continente. Allí, se puede mostrar los lugares según los cuales se presenta una interacción consistente y dinámica, junto aquellos sitios que aún permanecen “aislados”.

Figura 3. Interconexiones

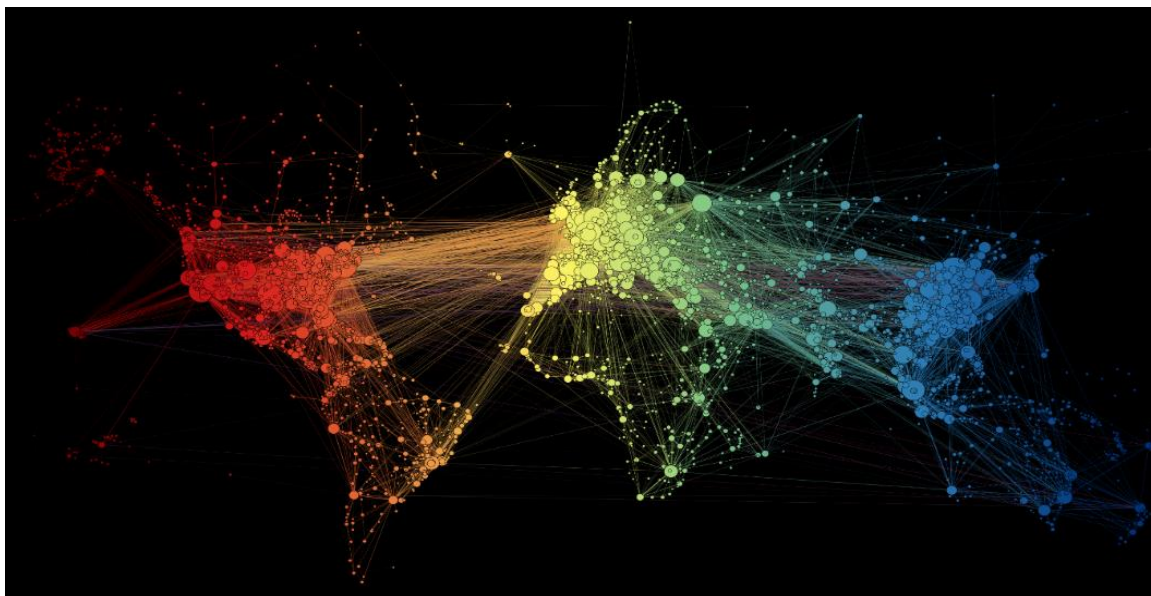


Figura 3. Interconexiones: clusters o grado de interconexión entre los distintos entes territoriales del transporte aéreo. Fuente: Wittmer, A. & Bieger, T. (2011). Aviation Systems

Se hace evidente la capacidad de interconexiones de Norteamérica, Europa y Asia por capturar y capitalizar los beneficios del desarrollo aeroportuario a nivel mundial. En contraste, con otros continentes, se observan puntos diversos y dispersos que no logran consolidarse respecto a la concentración de rutas. Específicamente, se hace visible la ausencia de un aeropuerto o región en América Latina con la capacidad de convertirse en un “hub” que logre empoderarse del mercado continental. También, teniendo en cuenta que las cifras de movimientos de pasajeros internacionales tenderán a superar el tráfico doméstico.

Esta lógica sustenta la idea según la cual el modo aéreo resulta esencial en el marco de la globalización y la era de las telecomunicaciones, y en tal sentido es fundamental concebir una ubicación privilegiada en el panorama aeronáutico, así como garantizar la capacidad de los aeropuertos de crecer y expandirse con el incremento de pistas de

vuelos, terminales, posiciones para aviones, hangares, y demás actividades no aeronáuticas. (Sec. Distrital de Planeación de Bogotá, 2015, p. 37)

Recopilación de datos (inventario)

La recopilación de información (BBDD) relativa al área de influencia a la que servirá el aeropuerto es fundamental. La anterior información, debe referirse en conjunto a inventarios de los aeropuertos existentes en la zona o más próximos a ella, tales como: medio aeroportuario, datos socioeconómicos, datos (geométricos) del aeropuerto, etc. La recopilación de la información va enfocada al área de influencia a la que servirá el aeropuerto. Por ende, se deben tener en cuenta datos socioeconómicos del área, tales como: tasa de crecimiento, producto interno bruto (PIB) (ciudad, dpto., país), la población (ciudad, dpto., país), el índice de precios al consumidor (IPC) y la tasa de cambio representativa del mercado (TRM), la tasa de empleo (local, regional, nacional), y el índice de competitividad (IC), datos estadísticos gestionados y presentados por instituciones públicas relacionadas. De igual forma se tienen en cuenta datos aeronáuticos o de transporte aéreo, del aeropuerto en estudio. (Ramos & Cárdenas, 2016, p.18)

Estudio de tráfico

La realización del pronóstico de tráfico es el punto vital de los procesos de planificación, ya que constituyen las bases para definir las instalaciones que se requerirán y el momento en que se necesitarán. El pronóstico de tráfico se suele realizar a corto (5 años), medio (10 años), largo (15 años) y muy largo (20 años o más) plazo. Sin embargo, la experiencia dice que la predicción para periodos mayores de 10

años debe tratarse con mucha cautela, debida a la "discutida" fiabilidad de la misma.

(Ramos & Cárdenas, 2016, p.18)

En dicho estudio de pronóstico, es importante realizar la predicción de, al menos, los siguientes parámetros:

- De pasajeros, internacional y nacional.
- De operaciones totales de aeronaves, internacional y nacional.
- De carga aérea, internacional y nacional.

Pronóstico

El pronóstico generalmente implica el supuesto de que la incertidumbre puede modelarse correctamente como riesgo. Existe un modelo subyacente, "verdadero", que dicta la evolución de la variable de interés. Si realmente existe tal modelo no está claro. Lo que realmente importa son las implicaciones de este supuesto: que el futuro se puede predecir de manera confiable analizando el pasado. La variable se mueve de forma distinguible; evoluciona cíclicamente, sigue una tendencia y exhibe estacionalidad. No se sabe qué ocurrirá en el futuro, pero es razonable suponer que, sin una gran perturbación, la variable continuará evolucionando en un patrón similar. Las predicciones no se hacen a ciegas o arbitrariamente; se hacen metódicamente desde una meticulosa consideración de las observaciones pasadas y presentes. Un pronóstico es una función de los datos disponibles actualmente: $f(x) = y$. Si la ecuación anterior se utiliza como una representación de la previsión, entonces la entrada (x) representa los datos disponibles, la función (f) representa el método utilizado y la salida (y) representa el valor pronosticado. La mayoría de los modelos cuantitativos pueden ser (vagamente) representados de esta manera. Algunos también usan otras variables, y

predicciones de éstas, como entrada para producir pronósticos. Este enfoque se utiliza principalmente para predicciones a mediano y largo plazo, ya que los modelos univariados funcionan bastante bien en el mediano plazo. (ACI, 2016, p. 2)

Previsión

Se describe como la incertidumbre inherente al hacer predicciones sobre el futuro.

Medir el riesgo generalmente significa medir los parámetros de un cálculo

impredecible, como el caso de un lanzamiento de moneda. La distribución de probabilidad para un lanzamiento de moneda puede ser fácilmente calculada, pero eso de ninguna manera significa que el resultado puede ser pronosticado confiablemente.

Nadie sabe con certeza cuál será el resultado, pero todos están de acuerdo que será cara o cruz, y estas alternativas son igualmente probables. La incertidumbre se refiere a una imprevisibilidad incalculable. (ACI, 2016, p. 2)

¿Por qué prever?

Los pronósticos son un ingrediente crucial en la planificación aeroportuaria para la determinación de los requisitos futuros de capacidad. Debido a que los proyectos de infraestructura son costosos e involucran muchos recursos, una comprensión basada en datos de la demanda futura, como el número esperado de movimientos de aeronaves, el rendimiento del tráfico de pasajeros y los volúmenes de carga aérea, brinda a los planificadores e inversores del aeropuerto, son la información necesaria para una toma de decisiones efectiva. Las aplicaciones para estos pronósticos pueden incluir la gestión de la demanda máxima esperada tanto en la parte aérea como en la parte terrestre de un aeropuerto en un horizonte de tiempo corto durante un período de meses. Por otro lado, los pronósticos a largo plazo se utilizan para planificar durante

décadas. Por lo tanto, independientemente del elemento de incertidumbre con los resultados y eventos futuros, aún se requieren pronósticos para comprender varios escenarios, todas las demás cosas son iguales. (ACI, 2016, p. 2)

Pronóstico de horizontes

La tabla 1. Resume las diferencias de perspectiva entre los principales actores de la industria. Se comparan a través de cuatro horizontes de pronóstico: a muy corto plazo, a corto plazo, a medio plazo y a largo plazo. Se debe tener en cuenta que, si bien los intervalos de tiempo reales asociados con estos términos varían de un actor a otro, el propósito típico de un horizonte dado es en gran medida invariante.

Tabla 1

Perspectiva entre los principales actores de la industria aérea

<i>Pronóstico:</i>	<i>A muy corto plazo</i>	<i>A corto plazo</i>	<i>A mediano plazo</i>	<i>A largo plazo</i>
	Principalmente por razones operativas y asignación de recursos.	Razones operativas y presupuestarias.	Razones presupuestarias y ajustes de inversión.	Decisiones estratégicas, inversión a largo plazo, desarrollos de infraestructura de productos.
<i>Aerolíneas</i>	Próximo Vuelo	Temporada actual IATA	Próximos 12 meses	3 a 5 años
<i>Aeropuertos</i>	Día siguiente a la temporada actual de IATA.	Año corriente	Próximos 5 años	Hasta 20-25 años
<i>Fabricantes Aviones / motor</i>		Año corriente	Próximos 5 años	Hasta 20-25 años
<i>Autoridades de Aviación Civil</i>			Próximos 5 años	Hasta 30-40 años

Nota: Términos de previsión por industria. Fuente: ACI (2016). Guide To World Airport Traffic Forecast.

Cuando se compara en un tiempo medible, está claro que las aerolíneas son diferentes de otras industrias en la cadena de valor del transporte aéreo. El largo plazo de las aerolíneas es aproximadamente igual al de las otras partes interesadas de la industria a medio plazo. Esto es consecuencia de que las aerolíneas tienen un nivel de flexibilidad (en la implementación de cambios en sus productos, redes y flotas) que el resto de los actores de la industria no tienen. (ACI, 2016, p. 3)

Pronósticos de la demanda en el transporte aéreo

Los pronósticos se basan en las diferentes variables estudiadas como son el comportamiento histórico de la actividad aeronáutica, el estudio de mercados relevantes, el estudio de variables económicas y socioeconómicas, pronósticos del comportamiento futuro de estas variables y estimados realizados por el consultor o por fuentes de la industria. El objetivo principal es suministrar la información necesaria para desarrollar la tarea del análisis de la demanda y capacidad del aeropuerto existente por medio del desarrollo de los parámetros de planificación. Una de las consideraciones más importantes durante el desarrollo de los pronósticos es que las previsiones sean flexibles y que puedan ser fácilmente revisadas con el tráfico actualizado. Para realizar estas actualizaciones es importante anotar la importancia de una base de datos consistente y actualizada. La recomendación es que las actualizaciones a los pronósticos de la demanda se hagan como mínimo cada 5 años, pero más frecuentemente si la actividad está experimentando mucha variabilidad. Los pronósticos de la actividad aeronáutica pueden ser afectados por una combinación de factores externos que son difíciles de predecir, por lo tanto, es vital que los pronósticos sean flexibles y fáciles de actualizar para poder reflejar estas nuevas situaciones de la industria. Estas previsiones se han tomado durante el

desarrollo del modelo de los pronósticos, se ha creado un modelo automatizado y fácil de actualizar.

Plan maestro aeroportuario (PMA)

Es un instrumento de planificación de naturaleza aeroportuaria, que incluye su entorno de influencia, organiza el aeropuerto y sus zonas de servicio definiendo las grandes directrices de ordenamiento y desarrollo del aeropuerto en forma racional, adecuando a las necesidades presentes y futuras del transporte aéreo, hasta alcanzar su máxima expansión previsible. Todo aeropuerto internacional deberá contar con terminal de pasajeros, flujo de pasajeros diferenciados y diseños acorde con los procesos de terminal, servicios de facilitación, servicios de información, servicios comerciales, adecuada señalización, planificados para mantener ciertos niveles de calidad de servicio. (Ramos & Cárdenas, 2016, p.17)

Teoría Econométrica

Samuelson (1954) define la econometría como “el análisis cuantitativo de fenómenos económicos reales, basados en el desarrollo simultáneo de la teoría y la observación, relacionados mediante métodos apropiados de inferencia”.

En el campo econométrico, el transporte aéreo sufre de un sistema regulatorio fragmentado el cual necesita ser profundamente adaptado a las demandas de hoy y del futuro. Los esfuerzos en este aspecto se centran en la modernización, armonización y convergencia de los enfoques regulatorios, garantizando al mismo tiempo la participación efectiva y sostenida de todos los estados en el transporte aéreo internacional. La OACI continúa su labor en línea con una

visión a largo plazo de la liberalización del transporte aéreo. (AeroCivil, 2017, p.11)

En el documento 8991 de OACI “manual de previsión de tráfico aéreo” (ICAO, 2006) se citan los métodos de previsión establecidos, con el fin de realizar pronósticos confiables de la actividad aeronáutica a corto y mediano plazo, estos métodos son nombrados a continuación:

- Métodos de pronóstico cuantitativos.
- Análisis de series temporales.
- Métodos causales.
- Métodos cualitativos de pronóstico.
- Técnica Delphi.
- Pronóstico tecnológico.
- Análisis de decisión.
- Estudios de mercado y de la industria.
- Análisis probabilístico, análisis bayesiano.
- La dinámica de sistemas de pronóstico horizontes temporales.
- Proyección de tendencia (del atlántico norte mercado).
- El análisis econométrico.
- Exactitud de la previsión.

Modelos estadísticos (modelos de pronóstico cuantitativos)

Los modelos estadísticos para la elaboración de pronósticos se clasifican como cuantitativos o cualitativos. Para el estudio de este proyecto se dispone data para manejar el modelo de manera cuantitativa.

Los modelos cuantitativos de pronósticos son modelos matemáticos que se basan en datos históricos. Estos modelos suponen que los datos históricos son relevantes en el futuro”. Los modelos de pronóstico cuantitativos se pueden clasificar en dos categorías principales: análisis de series de tiempo y métodos casuales. (Villarreal, 2016, p.4)

Algunas de las técnicas más ampliamente utilizadas en estas dos subcategorías se explican a continuación:

- Regresión lineal: Modelo que utiliza el método de los mínimos cuadrados para identificar la relación entre una variable dependiente y una o más variables independientes, presentes en un conjunto de observaciones históricas. En la regresión simple, solo hay una variable independiente; en la regresión múltiple, hay más de una variable independiente. Por lo general, la regresión lineal se utiliza en pronósticos a largo plazo.
- Suavización exponencial: Modelo de pronóstico de series de tiempo a mediano plazo que pronostica las demandas para el siguiente periodo. En este método, las demandas pronosticadas para el último periodo se modifican utilizando la información correspondiente al error de pronóstico del último periodo. Esta modificación del pronóstico del último periodo se utiliza como pronóstico para el siguiente periodo.
- Suavización exponencial con tendencia: Es el modelo de suavización exponencial arriba descrito, pero modificado para tomar en consideración datos con un patrón de tendencia. Estos patrones pueden estar presentes en datos a mediano plazo.

- Regresión local: (también conocida por sus siglas en inglés, LOESS o LOWESS) es uno de muchos métodos modernos de construcción de modelos basados en los clásicos, como la regresión lineal y la regresión no lineal. La regresión local es un enfoque de ajuste de curvas y superficies a datos mediante suavizados en los que el ajuste en x se realiza utilizando únicamente observaciones en un entorno de x . Al realizar una regresión local se utiliza una familia paramétrica al igual que en un ajuste de regresión global pero solamente se realiza el ajuste localmente.

Los métodos cuantitativos se utilizan cuando:

- Se dispone de información pasada sobre la variable que se pronosticará.
 - La información puede cuantificarse.
 - Es razonable suponer que el patrón del pasado seguirá ocurriendo en el futuro.
- En estos casos puede elaborarse un pronóstico con un método de series de tiempo o un método causal.

Como afirma Villareal (2016), “si los datos históricos se restringen a valores pasados de la variable que tratamos de pronosticar, el procedimiento de elaboración de pronósticos se llama método de serie de tiempo”. (p.7)

Proyección

Un primer paso para pronosticar la actividad del tráfico aéreo es por lo general para estudiar los datos históricos (series temporales) y determinar la tendencia en el desarrollo del tráfico, lo anterior dicho para el contexto de previsión a largo plazo. Al derivar una a medio plazo o pronosticar mediante la extrapolación de la tendencia del

tráfico a largo plazo, el histórico del tráfico continuará operando en el futuro como en el pasado, excepto que su impacto puede cambiar gradualmente, y las condiciones de equilibrio continuarán en el futuro. (Ramos & Cárdenas, 2016, p.21)

Ciclo económico

Se denominan ciclos económicos, ciclos comerciales o fluctuaciones cíclicas de la actividad económica a las oscilaciones recurrentes de la economía en las que una fase de expansión va seguida de otra de contracción, seguida a su vez de expansión y así sucesivamente. La contracción genera como resultado una crisis económica que afecta en forma negativa la economía de millones de personas. (Mitchel, 1923, p.5)

El análisis econométrico

El punto de partida para un análisis econométrico es, en efecto, un modelo de ecuación de regresión que postula una relación causal entre una variable dependiente y una o más variables explicativas. Las variables dependientes en el análisis de la demanda de tráfico, en general, son los datos históricos de tráfico aéreo medido en términos de pasajeros (Pax) o de pasajero-kilómetro recorrido (RPK) y toneladas métricas de carga aérea (Crg.Ton) o transporte de mercancías kilómetros-tonelada (FTK). Las variables explicativas (o independientes) son aquellas variables que podrían tener una influencia en la demanda de viajes aéreos. Ramos & Cárdenas (2016), afirman que “el modelo econométrico intenta explicar la demanda de viajes aéreos como causadas por el cambio de las variables explicativas. Conceptualmente, los cambios en las variables explicativas se expresan independientemente por el modelo” (p.21).

El grado de exactitud y confiabilidad del modelo o regresión está determinado por el factor de correlación que se expresa como el R^2 . El R^2 es una medida estadística de la

relación entre las diferentes variables incluidas en los análisis. Los valores de correlación pueden oscilar entre 0.00 y 1.00. Entre más cercano al 1.00, mejor es la correlación entre las variables consideradas. Para propósitos de los pronósticos de demanda aeronáutica solo se consideran relevantes regresiones que tengan una correlación con R^2 mayor o igual al 0.90. (PMA, 2014, p.46)

Modelos de distribución del tráfico aéreo

Los modelos de distribución del tráfico aéreo se pueden utilizar para pronosticar la demanda de tráfico. Ramos & Cárdenas (2016) afirman que:

Los factores socioeconómicos, demográficos y otros factores relevantes (incluyendo las características económicas de las propias ciudades para el mercado en cuestión) deben ser tomados en consideración. Además, los factores relacionados con la oferta, tales como el nivel de servicio disponible entre origen y destino también pueden entrar en juego. A continuación, se dan a conocer series históricas económicas (variables independientes), las cuales son base para el desarrollo de los pronósticos:

- La medición del valor de la actividad económica. El Producto Interno Bruto: El producto interno bruto (PIB) de país es el valor total de todos los bienes y servicios finales producidos para el mercado durante un periodo dado, dentro de las fronteras de la nación. La medición del PIB sumando el valor de los bienes y servicios comprados por cada uno de los tipos de usuarios finales, así mismo, el consumo es la parte del PIB comprada por los individuos en su papel de usuarios finales.

- Los componentes del gasto: A los economistas y los responsables de la política económica no solo les interesa la producción total de bienes y servicios de la economía, sino también la asignación de esta producción a distintos fines. La contabilidad nacional divide el PIB en cuatro grandes categorías de gasto:

*El consumo (C)

*La inversión (I)

*Las compras de estado (G)

*Las exportaciones netas (XN).

Por lo tanto, se representa el PIB por medio del símbolo Y.

$$Y = C + I + G + X$$

Ecuación 1. Contabilidad del PIB

El PIB es la suma del consumo, la inversión, las compras del estado y las exportaciones netas. Esta ecuación es una ecuación que debe cumplirse debido a la forma en que se definen las variables. El consumo está formado por los bienes y servicios adquiridos por las economías domésticas. Se divide en tres subcategorías: bienes no duraderos, bienes duraderos y servicios. La inversión se divide en tres subcategorías: inversión en bienes de equipo, inversión en construcción y variación de las existencias.

- Índice de Precios al Consumo: El indicador más utilizado de precios es el índice de precios al consumo (IPC). El índice de precios al consumo es un indicador de la inflación muy vigilado. Como son tantos los elementos que

dependen del IPC, es importante asegurarse de que esta medida del nivel de precios es exacta. Muchos economistas creen que el IPC tiende a sobreestimar la inflación por varias razones.

Técnicamente el IPC es un índice de canasta fija, correspondiente a un periodo base en el tiempo, que permite una actualización más rápida de la canasta para seguimiento de precios, según evolucione o cambie el gasto de consumo de los hogares de un país.

- Población: La propuesta metodológica para el Censo General 2005 apuntó a satisfacer las necesidades del país, mediante un conteo que brindara información precisa, oportuna, confiable e integrada del volumen y composición de la población, los hogares y viviendas a nivel nacional. Asimismo, se buscó actualizar marcos censales básicos de los establecimientos económicos y las unidades agropecuarias asociadas a viviendas ocupadas con personas presentes. (p.22)
- Tasa Representativa del Mercado (TMR – peso por Dólar): La tasa de cambio representativa del mercado (TMR) es la cantidad de pesos colombianos por un dólar de los estados unidos. La TMR se calcula con base en las operaciones de compra y venta de divisas entre intermediarios financieros que transan en el mercado cambiario colombiano, con cumplimiento el mismo día cuando se realiza la negociación de las divisas. Actualmente la superintendencia financiera de Colombia es la que calcula y certifica diariamente la TRM con base en las operaciones registradas el día hábil inmediatamente anterior. (TRM Colombia, 2019)

Herramientas (software) para el cálculo de pronósticos

El desarrollo de los ordenadores ha permitido almacenar una gran cantidad de datos a la vez que ha facilitado su manejo. Existe en la actualidad un amplio conjunto de paquetes para el análisis econométrico que realizan complejas operaciones mediante unas instrucciones muy sencillas. Si los datos están disponibles en papel, las hojas de cálculo, como Excel, son un instrumento sencillo para introducir y preparar los datos y realizar operaciones sencillas. Sin embargo, es conveniente utilizar programas econométricos específicos que contribuyan a acelerar los procesos de investigación. Unos de los más populares en los cursos de econometría son:

- Eviews, desarrollado por Quantitative micro software, contiene una amplia gama de técnicas de análisis econométrico. Muchos manuales de econometría contienen un cd con ejemplos prácticos en Eviews.
- Shazam, elaborado en la universidad of British Columbia (Canadá), incluye técnicas para estimar muchos tipos de modelos econométricos.
- Gretl, acrónimo de gnu regression, econometric and time series (Biblioteca GNU de regresión econometría y series temporales), elaborado por Allin Cottrell (Universidad Wake Forest). Es software libre, muy fácil de utilizar. También da acceso a bases de datos muy amplias, tanto de organismos públicos, como el banco de España, como de ejemplos recogidos en textos de econometría.
- Rats, acrónimo de regression analysis of time series. Contiene una amplia gama de técnicas de análisis econométrico con especial dedicación al análisis de series temporales.
- R, software libre para cómputo estadístico y gráficos. Consiste en un lenguaje, un entorno de ejecución, un debugger y la habilidad de correr programas guardados en

archivos de tipo script. Su diseño fue influenciado por dos lenguajes existentes: s y scheme.

Se menciona que como herramienta (software) para el cálculo de pronósticos de la demanda del tráfico aéreo de BOG se utiliza Rstudio, un software libre y de punta.

El entorno R

R es un conjunto integrado de programas para manipulación de datos, cálculo y gráficos. Entre otras características dispone de:

- Almacenamiento y manipulación efectiva de datos,
- Operadores para cálculo sobre variables indexadas (arrays), en particular matrices,
- Una amplia, coherente e integrada colección de herramientas para análisis de datos,
- Posibilidades gráficas para análisis de datos, que funcionan directamente sobre pantalla o impresora y
- Un lenguaje de programación bien desarrollado, simple y efectivo, que incluye condicionales, ciclos, funciones recursivas y posibilidad de entradas y salidas.

(Debe destacarse que muchas de las funciones suministradas con el sistema están escritas en el lenguaje R).

El término “entorno” lo caracteriza como un sistema completamente diseñado y coherente, antes que como una agregación incremental de herramientas muy específicas e inflexibles, como ocurre frecuentemente con otros programas de análisis de datos.

R es en gran parte un vehículo para el desarrollo de nuevos métodos de análisis interactivo de datos. Como tal es muy dinámico y las diferentes versiones no siempre

son totalmente compatibles con las anteriores. Algunos usuarios prefieren los cambios debido a los nuevos métodos y tecnología que los acompañan, a otros sin embargo les molesta ya que algún código anterior deja de funcionar. Aunque `r` puede entenderse como un lenguaje de programación, los programas escritos en `r` deben considerarse esencialmente efímeros. (Introducción a R, 2000, p. 2)

Estadística con R

Las personas utilizan R como un sistema estadístico. Se puede describir como un entorno en el que se han implementado muchas técnicas estadísticas, tanto clásicas como modernas. Algunas de estas, están incluidas en el entorno base de `r` y otras se acompañan en forma de bibliotecas (packages). El hecho de distinguir entre ambos conceptos es fundamentalmente una cuestión histórica. Junto con `r` se incluyen ocho bibliotecas (llamadas bibliotecas estándar) pero otras muchas están disponibles a través de internet en `cran` (<http://www.r-project.org>).

Muchas técnicas estadísticas, desde las clásicas hasta la última metodología, están disponibles en R, pero los usuarios necesitarán estar dispuestos a trabajar un poco para poder encontrarlas. Existe una diferencia fundamental en la filosofía que subyace en R y la de otros sistemas estadísticos. En `r`, un análisis estadístico se realiza en una serie de pasos, con unos resultados intermedios que se van almacenando en objetos, para ser observados o analizados posteriormente, produciendo unas salidas mínimas. (Introducción a R, 2000, p. 2)

Las siguientes funciones estadísticas están incluidas en el entorno base de R y otras se acompañan en forma de bibliotecas (packages) y son clave para el cálculo de los pronósticos de este proyecto.

- `summary`: Las estadísticas de resumen (o descriptivas) son las primeras cifras utilizadas para representar casi todos los conjuntos de datos.
- `lm`: Se usa para ajustar modelos lineales. Se puede utilizar para llevar a cabo regresión, análisis de varianza de un solo estrato y análisis de covarianza.
- `loess`: propuesto originalmente por Cleveland (1979) y desarrollado por Cleveland y Devlin (1988), en un vector numérico para suavizarlo y predecir la Y localmente (es decir, dentro de los valores entrenados de Xs). El tamaño del vecindario se puede controlar utilizando el argumento `span`, que oscila entre 0 y 1. Controla el grado de suavizado. Por lo tanto, cuanto mayor es el valor del tramo, más suave es la curva ajustada.
- `data.frame`: Esta función crea marcos de datos, colecciones de variables estrechamente acopladas que comparten muchas de las propiedades de las matrices y de las listas, utilizadas como la estructura de datos fundamental por la mayoría del software de modelado de R.
- `predict`: hace referencia a una función Ráster (matriz de la data) con predicciones de un objeto modelo ajustado (por ejemplo, obtenido con `lm`).
- `bptest`: el test de Breusch-Pagan se utiliza para determinar la heterocedasticidad en un modelo de regresión lineal. Analiza si la varianza estimada de los residuos de una regresión depende de los valores de las variables independientes.

- shapiro.test: el Test de Shapiro–Wilk se usa para contrastar la normalidad de un conjunto de datos.
- dwtest: es una estadística de prueba que se utiliza para detectar la presencia de autocorrelación (una relación entre los valores separados el uno del otro por un intervalo de tiempo dado) en los residuos (errores de predicción) de un análisis de la regresión.

Presentación del caso de estudio

Ubicación

El aeropuerto o aeródromo presenta la siguiente nomenclatura internacional: (código IATA: BOG, código OACI: SKBO) Aeropuerto Internacional ElDorado-Luis Carlos Galán Sarmiento. Es el principal y más importante aeropuerto de Colombia. Se encuentra a 15 kilómetros al occidente del centro de Bogotá, en medio de las localidades de Fontibón y Engativá. El mismo, ocupa un área aproximada de 6,9 km² opera vuelos nacionales e internacionales (960 hectáreas).

Propietario República de Colombia

Operador Operadora Aeropuerto Internacional -
OPAIN S.A.

Servicios y conexiones

Aerolíneas 26

Pistas

Dirección	Largo		Superficie
	metros	pies	
13L/31R	3.800 × 45	12.467 × 148	Asfalto
13R/31L	3.800 × 45	12.467 × 148	Asfalto

Mapa



BOG / SKBO (Colombia)



Figura 4. Ficha técnica de BOG [Cuadro con Especificaciones]. Bogotá. Fuente: Eldorado. Aéreo

BOG es sin duda el mayor proyecto de infraestructura en la ciudad de Bogotá, cuando se terminó su remodelación a mediados del 2012, fue y sigue siendo el aeropuerto más grande y moderno de toda Latinoamérica y uno de los principales núcleos de interconexiones y escalas del continente Americano (hub), con seguridad seguirá manejando todos los pasajeros y la carga aérea que esta ciudad recibe año tras año. (Ramírez, 2018, p. 53)

El aeropuerto es de propiedad pública pero con operación concesionada al sector privado desde el año 2007 (Díaz Olariaga, 2017), año en que el aeropuerto desarrolló una primera (e importante) ampliación de su infraestructura e instalaciones (con una inversión de USD 650 millones) que culminó en el año 2013. En el año 2015 inició una segunda ampliación que finalizó a finales de 2018. (Rodríguez, Y.; Pineda, W., Díaz Olariaga, O, 2019)

En la actualización del PMA (2015) de BOG presenta la siguiente definición: “El Dorado, además de ser el aeropuerto principal de Colombia, es uno de los aeropuertos más importantes de América Latina. Es el aeropuerto con mayor volumen de carga aérea de Latinoamérica y el tercero con mayor movimiento de pasajeros”. (p. 2).

En la fig. 5 se visualiza BOG localmente dentro de la ciudad de Bogotá capital de Colombia.

Figura 5. Ubicación de BOG

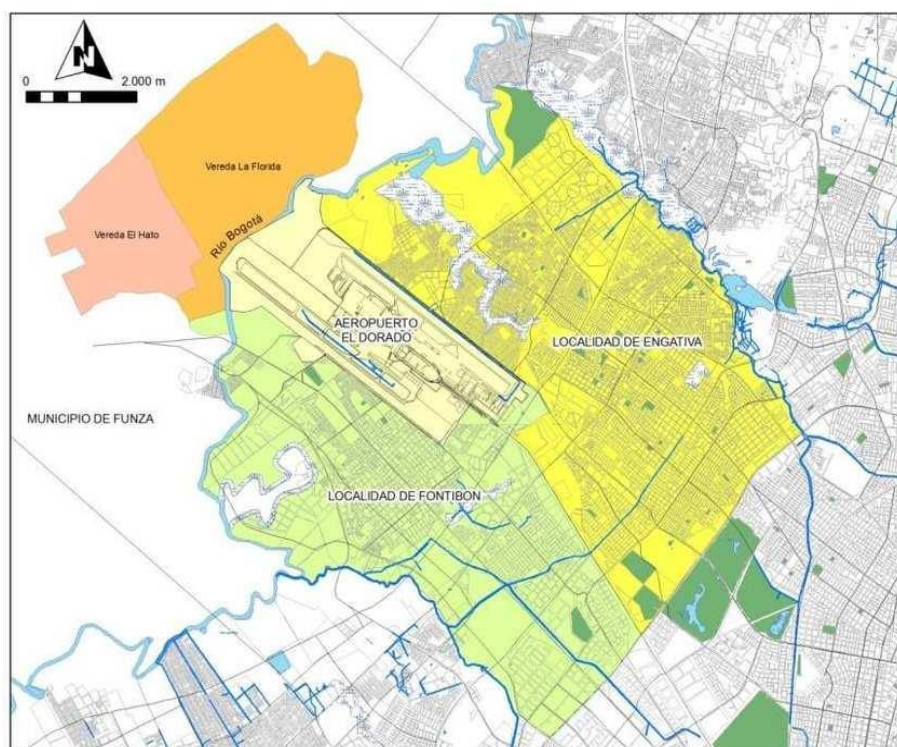


Figura 5. Ubicación de BOG en la ciudad de Bogotá-Cundinamarca, Colombia. Fuente: Aerocivil. (2016).

A finales de la década de 1990 BOG presentaba problemas de congestión en operaciones aéreas y restricciones en términos de espacio, que impedían la identificación de suelos de expansión o futuro desarrollo. El crecimiento del tráfico aéreo y la absorción que ejercía el tejido urbano de Bogotá y la región serían elementos determinantes para los procesos de planificación del aeropuerto de cara al futuro. (Secretaría Distrital de Planeación, 2018, p.57)

En la actualidad, está en construcción el aeropuerto internacional el Dorado II, que servirá a BOG para descongestionar las problemáticas de tráfico aéreo, las restricciones por contaminación auditiva y otras necesidades que contribuirán a la solución del crecimiento de demanda del transporte aéreo en Colombia. Del proyecto ya se conocen avances de construcción y ya se han presentado análisis técnicos de la viabilidad operacional como también de un plan maestro que fue presentado en el 2015.

El PM de el Dorado II tiene como objeto presentar los resultados obtenidos de la Viabilidad, Operacional, Técnica, Ambiental, Urbana, socioeconómico y predial, realización del plan maestro en donde se estudiaron entre otros aspectos, la actualización de los pronósticos de demanda, la conectividad y los costos y presupuestos. (PM, 2015)

Aerolíneas pertinentes

Las siguientes 26 aerolíneas operan actualmente desde BOG. Los destinos por aerolínea de transporte aéreo de pasajeros nacional e internacional son presentados gracias a la información de la Aeronáutica Civil de Colombia (2019).

Figura 6. Destinos por aerolíneas desde BOG.

<u>Destinos por aerolínea desde BOG</u>	
Aerolíneas	Ciudades
 Avianca 51 destinos	Nacionales(24): Armenia / Barrancabermeja / Barranquilla / Bucaramanga / Cali / Cartagena / Corozal / Cúcuta / Florencia / Ibagué / Leticia / Manizales / Medellín / Montería / Neiva / Pasto / Pereira / Popayán / Riohacha / San Andrés / Santa Marta / Valledupar / Villavicencio / Yopal Internacionales (27): Barcelona / Buenos Aires / Cancún / Ciudad de Guatemala / Ciudad de Panamá / Ciudad de México / Fort Lauderdale / La Habana / La Paz / Lima / Londres / Los Ángeles / Madrid / Miami / Múnich / Nueva York / Oranjestad / Orlando / Punta Cana / Rio de Janeiro / San Juan / San Salvador / Santo Domingo / Santiago de Chile / São Paulo / Washington / Willemstad
 Copa-Airlines-Colombia 1 destino	Internacional (1): Ciudad de Panamá
 EasyFly 8 destinos	Nacionales(8): Florencia / Manizales / Neiva / Pereira / Popayán / Puerto Asís / Quibdó / Yopal
 LATAM-Colombia 16 destinos	Nacionales(13): Barranquilla / Bucaramanga / Cali / Cartagena / Cúcuta / Leticia / Medellín / Montería / Pereira / San Andrés / Santa Marta / Valledupar / Yopal Internacional (1): Miami
 Satena 19 destinos	Nacionales(19): Apartadó / Arauca / Buenaventura / Florencia / Ipiales / La Macarena / Medellín / Mitú / Pitalito / Puerto Asís / Puerto Carreño / Puerto Inírida / Quibdó / San José del Guaviare / San Vicente del Caguán / Saravena / Tame / Tumaco / Villagarzón
 Viva-Air-Colombia 11 destinos	Nacionales(10): Barranquilla / Bucaramanga / Cartagena / Cúcuta / Medellín / Montería / Pereira / Riohacha / San Andrés / Santa Marta Internacional (1): Lima
 Wingo 14 destinos	Nacionales (2): Cartagena / San Andrés Internacionales (12): Cancún / Caracas / Ciudad de México / Guayaquil/ La

	Habana / Oranjestad / Panamá / Punta Cana / Quito / San José / Santo Domingo / Willemstad
 Aerolíneas-Argentinas 1 destino	Internacional (1): Buenos Aires
 Aeroméxico 1 destino	Internacionales (1): Ciudad de México
 Air-Canadá-Rouge 1 destino	Internacional (1): Toronto
 Air-Europa 1 destino	Internacional (1): Madrid
 Air-France 1 destino	Internacional (1): París
 American-Airlines 2 destinos	Internacionales (2): Dallas / Miami
 Avianca-Costa-Rica 1 destino	Internacional: (1) San José
 Avianca-Ecuador 5 destinos	Internacionales: (5) Ciudad de Panamá / Guayaquil / Quito / Oranjestad / Santa Cruz de la Sierra
 Avianca-Perú 2 destinos	Internacionales: (2) Cusco / Lima
 Avianca-Salvador 1 destino	Internacional: (1) San Salvador
 Avior-Airlines 2 destinos	Internacional (2): Caracas / Porlamar
 Copa-Airlines 1 destino	Internacional (1): Ciudad de Panamá
 Delta-Air-Lines 1 destino	Internacional (1): Atlanta
 Iberia 2 destinos	Internacional (1): Madrid / Lisboa
 Internet 2 destinos	Internacionales (2): Ciudad de México / Cancún
 JetBlue 2 destinos	Internacionales (2): Fort Lauderdale / Orlando

 KLM 1 destino	Internacional (1): Ámsterdam
 LATAM-Airlines 2 destinos	Internacional: (2) Miami / Santiago de Chile
 LATAM-Brasil 1 destino	Internacional: (1) São Paulo
 LATAM-Perú 1 destino	Internacional: (1) Lima
 Lufthansa 1 destino	Internacional (1): Frankfurt
 Spirit Airlines 2 destinos	Internacionales (2): Fort Lauderdale / Orlando
 Turkish Airlines 1 destino	Internacional (1): Estambul
 United Airlines 2 destinos	Internacionales (2): Houston / Newark
 Viva Air Perú 1 destino	Internacional (1): Lima

Figura 6. Destinos por aerolíneas de BOG. [Cuadro]. Fuente: Aerocivil. (2019): Estadísticas de Oferta y Demanda-Aerocivil.

Se ha presentado un cambio importante en el perfil de las líneas aéreas que vuelan regularmente BOG. La entrada al mercado de operadores aéreo privados con un modelo de negocio FSC (Full-Service Carrier) se produjo muy pronto luego de la liberalización del sector (principios de la década de 1990). No obstante, la entrada al mercado de las líneas aéreas de bajo costo, o LCC (Low-Cost Carrier), fue muchos años posterior a la liberalización. Las tres 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 (inaugurada en 2009 pero inicia

operaciones en 2012), y Wingo (que inició operaciones en diciembre de 2016).

Finalmente mencionar que la aerolínea Avianca, la más antigua de Colombia (antigua compañía de bandera colombiana, hoy empresa privada), domina el mercado tanto de destinos nacionales como internacionales. (Díaz, 2016a)

Avianca que se ha integrado con el grupo TACA (Transportes Aéreos Centroamericanos) para formar una empresa con mayor cantidad de destinos y frecuencias. LAN adquirió a Aires y los derechos a su red de vuelos. COPA adquirió AeroRepública y sus rutas. Esto conlleva a una competencia como afirma el PMA de BOG (2014): “En los últimos veinte años, la competencia entre las aerolíneas en Colombia ha generado una reducción del precio de las tarifas aéreas, lo cual ha incentivado la industria y esto se refleja en un incremento significativo en el número de pasajero domésticos”.

Del **OAG**¹ (Official Aviation Guide Of The Airways) se ha obtenido las características de la flota de aviones, se ha asumido que éstas no cambian mucho de un mes a otro, sino que cambian los factores de ocupación. El análisis también ha tomado en cuenta que las líneas aéreas colombianas han realizado una renovación de flota en los últimos años reduciendo considerablemente la edad de las aeronaves con el reemplazo de aeronaves más modernas. Se ha estimado que la mayoría de la flota nacional de pasajeros se concentra en aviones de 81-160 asientos, alrededor del 70% del total de las operaciones. Para vuelos internacionales, la mayoría de la actividad se agrupa entre aeronaves de 101-160 sillas (77%).

¹ OAG: proveedor global líder de información aeronáutica digital que procesa y distribuye datos de horarios de vuelos, información de estado de los vuelos, informes de mercado de la aviación y herramientas para el análisis del transporte aéreo de pasajeros y de carga aérea. Es la base de datos más exhaustiva en relación a la actividad de las aerolíneas y aeropuertos

Un 17.3% de la operación internacional corresponde a aviones de más de 200 asientos, o sea fuselajes anchos los cuales son usados para vuelos de más de seis horas.

Terminales

BOG cuenta con tres Terminales; T1- Terminal El Dorado, T2- Terminal Puente Aéreo o TPA, TC- Terminal de Carga aérea que se divide en 3 accesos de abastecimiento (TC1, TC2, TC3) y CAC corresponde al Centro Administrativo de Carga. En la fig.8 se presentan las terminales de BOG. Como afirman en la página oficial de internet de Eldorado.aero (2019): “Las terminales de pasajeros y de carga están catalogadas como las más importantes del país y de Suramérica”.

Figura 7. Terminales

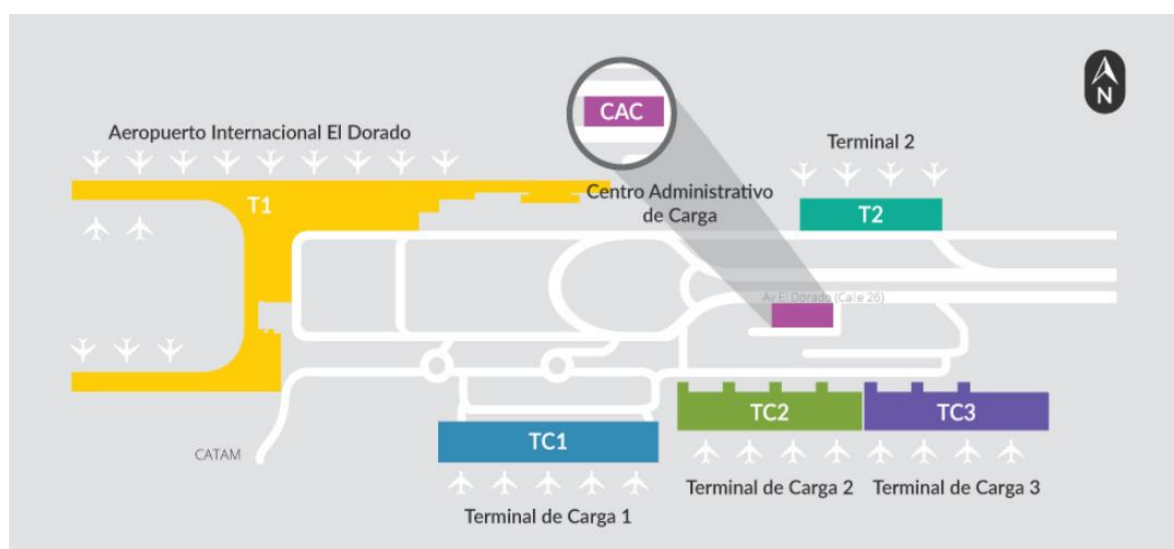


Figura 7. Terminales Nac/Interl de pasajeros y de carga aérea de BOG [Imagen]. Fuente: eldorado.aero. (2019). <https://eldorado.aero/aeropuerto/terminales/>

La terminal 1 (T1) es una de las terminales más avanzadas e importantes de la región. Con más de 173.000 m2 de área y 32 puentes de abordaje que está en actual ampliación,

conecta a Bogotá con más de 70 destinos nacionales e internacionales, además de brindarles a sus usuarios todas las comodidades que un viajero de hoy en día puede necesitar: conexión a internet Wi-Fi gratis en todo el edificio, y garantiza las conexiones a través de escaleras mecánicas, ascensores y pasillos rodantes. El edificio tiene forma de letra "h" (Fig.8) y está dividido en dos muelles: el internacional y el nacional. El primero fue abierto en 2012. Tiene diez puentes de abordaje y cinco más compartidos con el muelle nacional. En el muelle nacional hay 17 puentes de embarque. Las siguientes aerolíneas en la Fig. 9 operan desde la T1 de BOG.

Figura 8. Terminal 1 (T1)



Figura 8. Vista Panorámica Terminal 1 (T1) de BOG. Fuente: ARUP (2013). <https://www.arup.com/projects/el-dorado-international-airport>

Figura 9. Aerolíneas en la T1



Figura 9. Aerolíneas (A. argentinas, Aeromexico, Aircanada, Aireuropa, Airfrance, Americanairlines, Avianca, Avior, Conviasa, Copaairlines, Cubana, Delta, Iberia, Interjet, Jetblue, Klm, Latam, Lufthansa, Spirit, Tame, Turkishairlines, United, Vivacolombia, Wingo) con servicio en la terminal 1 (T1) de BOG. Fuente: eldorado.aereo. (2019). <https://eldorado.aero/aeropuerto/destinos/>

La terminal 2 (T2) conocida anteriormente como Puente Aéreo o TPA cuenta con un terminal de 15.213 m² y una extensión de plataforma de 36.870 m² destinadas para la operación de vuelos nacionales. El edificio alberga locales comerciales, plaza de comidas, sala VIP y dos salas de espera. Los pasajeros acceden a las aeronaves a través de pasillos y escaleras. Las siguientes aerolíneas en la Fig. 11 operan desde la T2 de BOG.

Figura 10. Terminal 2 (T2 o TPA)



Figura 10. Vista Panorámica Terminal 2 (T2 o TPA) de BOG. Fuente:Google Maps. (2019).
<https://www.google.com/maps/place/Aeropuerto+Internacional+El+Dorado/@4.6988549,-74.1412211,17z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x8e3f9b646667885b:0xb03f261ee6926ef1!8m2!3d4.6988549!4d-74.1412211?hl=es>

Figura 11. Aerolíneas en la terminal 2 (T2 o TPA)



Figura 11. Aerolíneas (Easyfly, Satena) con servicio en la terminal 2 (T2) de BOG. .Funete: eldorado.aereo. (2019). Recuperado de <https://eldorado.aero/aeropuerto/destinos/>

Las terminales de carga aérea de BOG son espacios exclusivos para el procesamiento, recepción embarque y desembarque de mercancías, tanto nacional como internacional, que cuentan con la infraestructura, equipamiento y logística para la operación funcional y segura

de carga. La terminal de carga aérea de BOG es amplia y moderna, compuesta por los siguientes espacios que prestan sus servicios con un alto nivel:

- 207.000 m² de plataforma y calles de rodaje.
- 71.000 m² en espacio de bodegas y oficinas de carga.
- 63 puertas para operaciones en el lado aire.
- 25 puestos de parqueo para aeronaves de toda clase que pueden cargar y descargar simultáneamente.
- 50.000 m² en zonas de consolidación y transferencia con 214 muelles de embarque y desembarque en el lado tierra.
- 1.000m² de infraestructura en el edificio de cuarentena del ICA.

La Agencia Nacional de Infraestructura de Colombia ANI (2019), Declara que “Acorde a las normativas vigentes y requeridas por las autoridades. BOG tiene la terminal de carga más grande, eficiente y moderna del país, se movilizan cerca de 700 mil toneladas al año y está ranqueada como la primera de Suramérica”.

BOG Cuenta con tres terminales de carga (TC); Terminal de Carga 1 (TC1) para el manejo de la carga nacional, Terminal de Carga 2 (TC2) y Terminal de Carga 3 (TC3), para la operación internacional, además de un Centro Administrativo de Carga (CAC) donde se encuentran las oficinas administrativas relacionadas con el tema de aduanas y carga. Tiene 25 puestos de parqueo para aeronaves que pueden cargar y descargar simultáneamente y 207.000 metros cuadrados de plataforma y calles de rodaje. Además, cuenta con 63 puertas para operaciones en el lado aire, 214 muelles de embarque y desembarque en el lado tierra, 71.000

metros cuadrados en bodegas y oficinas, y 50.000 metros cuadrados para consolidación y transferencia de carga.

Figura 12. Terminales de Carga (TC)

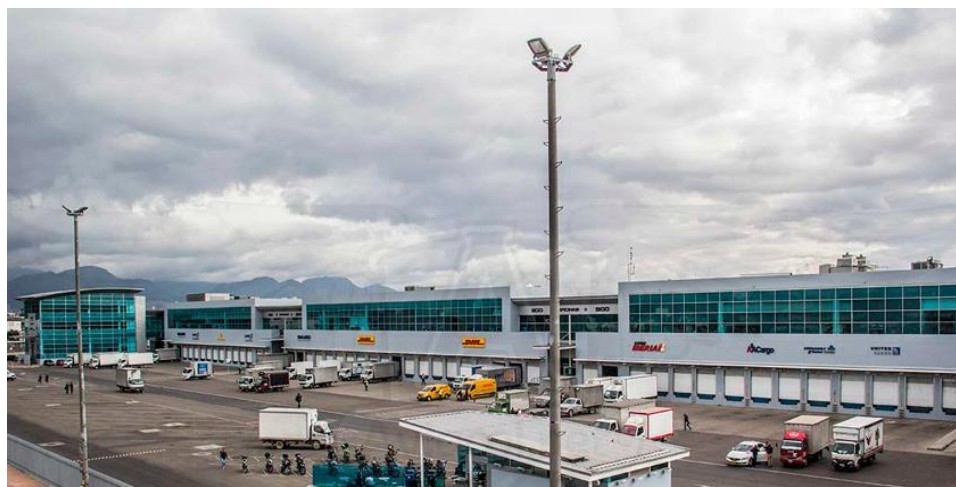


Figura 12. Terminales de Carga (TC2) y (TC3) de BOG. Fuente: AVIACOL. (2019). Recuperado de <https://www.aviacol.net/493-industria-aerea.html>

Desde los Terminales de Carga (TC) se exportan principalmente flores, electrodomésticos, frutas y telas; operan cerca de 20 aerolíneas, principalmente extranjeras, que conectan a Colombia con el sur, centro y norte de América, y Europa. En las terminales de carga aérea de BOG que son administradas por el concesionario OPAIN, trabajan cerca de 3.000 mil personas y se ofrecen servicios de mensajería y paquetería nacional e internacional de diferentes empresas como Avianca Cargo, UPS, Aerosucre, CopaCargo, MasAir, Cargolux, LATAM Cargo, Air Canadá Cargo, FedEx y DHL, entre otras. (ANI, 2018)

Centro de conexiones “hub”

BOG es el puente de conexiones entre Colombia y el resto del mundo como se ha mencionado anteriormente, concentra la mayor parte de operaciones aeronáuticas del país y cuenta con más de 80 destinos nacionales e internacionales.

Así mismo, con una tasa de crecimiento sostenida de entre 7 % y 8 %, el país podría alcanzar los 94 millones de pasajeros anuales en poco más de una década. El desarrollo de infraestructura será clave para lograrlo. (El espectador, 2018)

BOG cuenta con 88 destinos, de los cuales 49 son internacionales en más de 25 países (ver Fig.13) y 39 destinos nacionales (ver Fig.14), con una operación de 26 aerolíneas, que le permiten conectar a las ciudades del país con el resto del mundo. Además, cuenta con un número importante de aerolíneas con relación a otros aeropuertos de Latinoamérica, como el de Ciudad de México que cuentan con 44 aerolíneas. De igual forma, cabe mencionar que aún se encuentra limitado en el número de destinos, pues aeropuertos como el de Sao Paulo cuenta con 91 destinos, Ciudad de México con 114, Ámsterdam con 322, y Fráncfort cuenta con 248, sin embargo, esto representa nuevas oportunidades para BOG.

La ubicación geoespacial de Colombia entre dos océanos y en medio del gran continente Americano, es tan importante e influyente que se retoma cada año en debates económicos y en propuestas de negocios. En el aspecto aeronáutico, BOG es ideal y ofrece muchas ventajas comparativas, pues cuenta con diversos destinos internacionales, varias aerolíneas y, además, como se puede observar en la tabla.5, BOG se encuentra a una distancia cercana de las principales ciudades de América, un vuelo desde BOG con los destinos

internacional directos que ofrece al continente americano tiene un promedio de 3,6 horas y hacia Europa con un promedio de 10,8 horas.

Figura 13. Servicios aéreos directos internacionales



Figura 13. Servicios aéreo directo internacional de BOG. Fuente: eldorado.aereo. (2019). Recuperado de <https://eldorado.aero/aeropuerto/destinos/>

Más allá de esa ventaja geográfica, el país viene trabajando en mejorar otros factores que en conjunto han impulsado varios sectores de la economía, entre ellos el aeroportuario más importante de Colombia que es BOG. Al día de hoy, Colombia tiene una de las operaciones aéreas más importantes de la región, después de México y Brasil, y aun así tiene potencial para triplicar hacia 2030 la cantidad de pasajeros que moviliza, de acuerdo con la Aeronáutica Civil. Como se mencionaba anteriormente, cuenta con diversos destinos internacionales, varias aerolíneas, además, como se observa en la tabla.6, los destinos directos

que sirve a BOG gracias a la información actualizada que se presenta en la página web Eldorado. Aéreo. Por consiguiente, en promedio, un vuelo con destino en el territorio Americano es de 3,6 horas y hacia territorio Europeo es de 10,80 horas.

Tabla 2

Trayectos de BOG

<i>Destino</i>	<i>Horas de Vuelo (h)</i>	<i>Distancia (Km)</i>
AMERICA		
 Caracas	1,38	1020.3
 Quito	1,15	722
 Lima	2,4	1888.3
 La Paz	5,46	4428.1
 Santiago de Chile	5,40	4248.5
 Buenos Aires	5,49	4661
 Sao Paulo	5,39	4336.3
 Rio de Janeiro	5,55	4541.7
 Fortaleza	5,2	4067.2
 Oranjestad	1,54	978
 Willemstad	1,03	1008
 Santo Domingo	2,19	1602.4
 Punta Cana	2,24	1664.2
 San Juan	2,31	1762.1
 La Habana	3,05	2218.7
 Ciudad de Panamá	1,17	755.7
 San José	1,54	1254.9
 San Salvador	3	2153.1
 Ciudad de Guatemala	2,56	2102.7
 Ciudad de México	4,13	3158.7
 Cancún	3,09	2276.7
 Houston	4,42	3553
 Los Ángeles	7,12	5600.1
 Dallas	5,9	3917.2
 Miami	3,2	2434.8
 Fort Lauderdale	3,22	2461
 Orlando	3,43	2745.5
 Atlanta	4,3	3389.2
 Nueva York	5,15	4002.6
 Washington	5,1	3808.7
 Toronto	5,42	4368

<i>Promedio</i>	<i>3,6</i>	<i>2757.5</i>
EUROPA		
 Lisboa	9,33	7527.9
 Madrid	10,1	8031.7
 Barcelona	10,45	8515.2
 Paris	10,53	8627.2
 Frankfurt	11,2	9087.5
 Ámsterdam	11,09	8841.7
 Londres	10,45	8509
 Estambul	13,28	10742.4
<i>Promedio</i>	<i>10,80</i>	<i>8723.63</i>

Nota: Trayectos de BOG a destinos directos de América y Europa con sus respectivas horas de vuelo y distancia en Km. Elaboración Propia (2019)

Los destinos internacionales directos desde BOG, un 42.6% de las operaciones son de corta distancia, 40.6% de distancia media y 16.8% de larga distancia. Los vuelos más largos que se realiza en la actualidad son a Fráncfort (9087 Km) y Estambul (10742 Km).

Todos los vuelos comerciales de pasajeros dentro del territorio colombiano son considerados de corta distancia ya que son menos de 1600 Km (1000 millas). El más lejos son las islas de San Andrés y Providencia (ADZ) que está a 1205 Km de BOG. (PMA, 2014)

el escalafón de la asociación mundial de aeropuertos, Airports Council International (ACI. 2018), define que “Colombia ocupa el cuarto lugar entre los países que tienen proyectado un mayor crecimiento de pasajeros a 2040, después de Vietnam, India e Irán y por encima de economías tan dinámicas como Arabia Saudí, Emiratos Árabes Unidos y China”.

BOG, el hub de la Región Andina

BOG se ha convertido en una parada de conexiones de carácter obligatorio, desde Europa al norte de Sudamérica. Hace unos años, era el aeropuerto internacional Simón Bolívar de Caracas-Venezuela (SMR) el que ocupaba estas conexiones, pero desde el déficit económico del País vecino, BOG ha dado un salto en importancia. La nueva terminal aérea BOG le ha permitido al aeropuerto ubicarse como uno de los mejores en América Latina. BOG actualmente recibe los vuelos de Air France, Lufthansa, Iberia, KLM, Turkish Airlines y Air Europa. Solo el Aeropuerto Internacional de Tocumen en la Ciudad de Panamá (PTY) compite con BOG. El gobierno de Panamá y la Autoridad de Turismo de Panamá (ATP) logro que la aerolínea Emirates del medio oriente inicien operaciones a PTY desde el 2016. Al aeropuerto Panameño también operan Air France, Iberia, KLM, TAP, Cóndor y Lufthansa. PTY es llamado “El Hub de las Americas” y es la base principal de la aerolínea COPA Airlines, mientras que BOG es llamado “El Hub de la Región Andina” y su base principal de aerolínea es Avianca S.A. con 24 destinos nacionales y 27 destinos internacionales. Sus centros de conexiones están localizados en principal, como el aeropuerto El Dorado (Bogotá) y secundarios como El Salvador (San Salvador) y Jorge Chávez (Lima). Desde estos tres hubs operan vuelos programados y chárteres a Norteamérica, Centroamérica, El Caribe, Sudamérica

y Europa. La aerolínea ofrece conexiones entre destinos operados directamente o a través de acuerdos de **código compartido**², así como a través de la Red Star Alliance.

Otros aeropuertos de la región como el Jorge Chaves de Lima (LIM) y el Juan Santamaría de San José de Costa Rica (SJO) tratan de competir contra los aeropuertos de Panamá y Colombia, sin embargo, por el momento están muy atrás de la “carrera”. La consultora OAG posiciona a BOG en el número 39 entre los 50 aeropuertos mejor conectados del planeta. En América Latina solo hay cuatro aeródromos entre los 50 primeros puestos:

- Benito Juárez, Ciudad de México (MEX): posición 20
- El Dorado, Bogotá (BOG): posición 36
- Guarulhos, Sao Paulo (GRU): posición 37
- Tocumen, Ciudad de Panamá (PTY): posición 47

EL nivel de interconexión internacional de BOG se está desarrollando, gracias a su ubicación geográfica, puesto que el aeropuerto tiene un gran potencial para convertirse en un hub importante similar al aeropuerto de la Ciudad de Panamá (PTY). Existe un potencial para que BOG sea un “hub” prioritario, conectando vuelos entre Norte América, Centro América y Europa hacia gran parte de Sur América o llamada también la Región Andina de Sur América (Venezuela, Ecuador, Perú, Bolivia, Chile y Argentina), por lo tanto, generando mayor tráfico de pasajeros, carga aérea y operaciones. LANTAM Airlines que es una aerolínea formada por las aerolíneas Sudamericanas LAN y TAM con sede en Santiago (Chile) considera que

² En la industria de aviación civil, un acuerdo de código compartido (en inglés, codeshare) es un acuerdo suscrito por dos aerolíneas para explotar conjuntamente una determinada ruta. De tal forma, ambas aerolíneas venden asientos de un mismo vuelo y éste tiene dos números de vuelo distintos, uno para cada compañía.

Colombia debe ser un punto estratégico para ser un concentrador (hub) de pasajeros y carga. Siendo la capital y la ciudad principal de negocios del país, Bogotá es un excelente candidato para ser el centro de operación.

“Para que un aeropuerto tenga éxito conectando pasajeros entre diferentes vuelos nacionales o internacionales, siempre es muy importante el mercado local porque apoya los vuelos que se realizan allí (PMA, 2014, p.28).

Tráfico aéreo: Data histórica (1979-2018) de BOG

En la década de 1990 muchos países de América Latina y el Caribe (L&C) se embarcaron en un proceso de reforma estructural sin precedentes y Colombia no fue ajena a esta transformación. El transporte aéreo Colombiano está experimentando un vertiginoso y dinámico desarrollo que dio inicio aproximadamente hace dos décadas y media. Este periodo coincide con el inicio de una continuada implementación de políticas públicas elaboradas específicamente para el sector del transporte aéreo con el objetivo de impulsarlo y potenciarlo.

El crecimiento del tráfico aéreo en Colombia ha venido reforzado desde la década de 1990 por una política pública de liberalización del espacio aéreo en los mercados interno y externo, y por el re-direccionamiento de la inversión pública y privada hacia la modernización y actualización de las infraestructuras aeroportuarias, concesionando los aeropuertos de mayor tráfico del país. La primera generación de concesiones aeroportuarias se implementó en la mitad de la década de 1990, y a partir de ese momento se han desarrollado otras tres generaciones más. (Díaz. O, 2017)

Así como se menciona en la Aerocivil (2018) “como resultado de las políticas públicas, tanto de privatización como de inversión pública en infraestructura aeroportuaria (acompañadas con políticas de desregulación del sector aerocomercial), en las últimas dos décadas y media el transporte de pasajeros (totales) creció un 863%”.

A continuación se presentan los datos históricos del tráfico aéreo de BOG durante el periodo comprendido entre 1979 y el 2018. En relación con el tráfico aéreo se debe pensar en tres variables principales: pasajeros comerciales (Pax.) Nac/Interl, carga aérea transportada (Crg.Ton) Nac/Interl y la totalidad de operaciones aéreas (O.A).

Datos históricos de tráfico aéreo pasajeros comerciales

Se obtuvieron los datos (BBDD) históricos observados que son suministrados por el Grupo de Estudios Sectoriales de la Oficina de Transporte Aéreo de la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil (UAEAC), se ha observado consistencia en la información suministrada entre los pasajeros para el mercado nacional como para el internacional, lo cual da un buen nivel de confiabilidad en las estadísticas suministradas. Se presenta la asignación de pasajeros comerciales (Pax) para pasajeros nacionales (Pax Nac.) e internacionales (Pax Intl.) con sus respectivos porcentajes de crecimiento histórico entre el año 1979 y 2018. La fig. 15, provee el crecimiento de pasajeros comerciales de BOG nacionales e internacionales durante el periodo comprendido entre 1979 y el 2018.

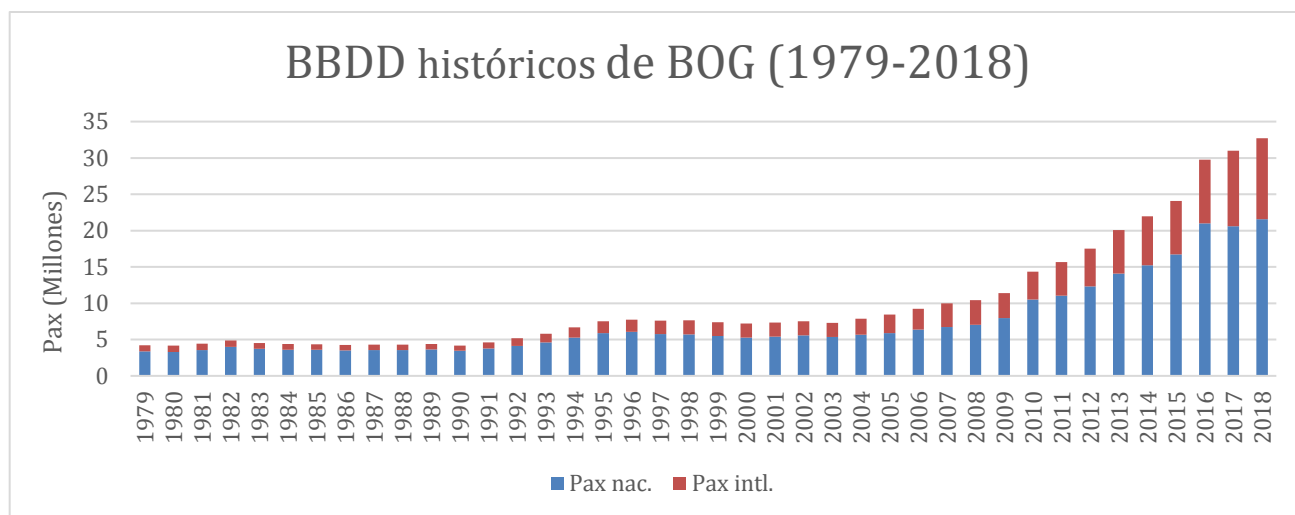
Figura 15. Estadísticas – Base de datos Pax

Figura 15. Estadísticas –Base de Datos (BBDD) histórica (1979-2018) en Pasajeros comerciales (Pax) de BOG anualmente. Fuente: Aerocivil. 2019

En los datos históricos observados de pasajeros comerciales de BOG, el transporte aéreo de pasajeros Nacionales como la de pasajeros Internacionales (Pax total.) han tenido un crecimiento significativo con un promedio total de 5,65% (5,17 Nac. y 7,21 Intl.). Se evidencia que desde el 2004 no ha presentado ningún declive de Pax comerciales, de esta forma se hizo un promedio de crecimiento entre 2004-2018 con el 10,68% y para el promedio de crecimiento 2010-2018 presentó 12,63%. La fig. 16, provee el crecimiento de pasajeros comerciales de BOG en los últimos 15 años.

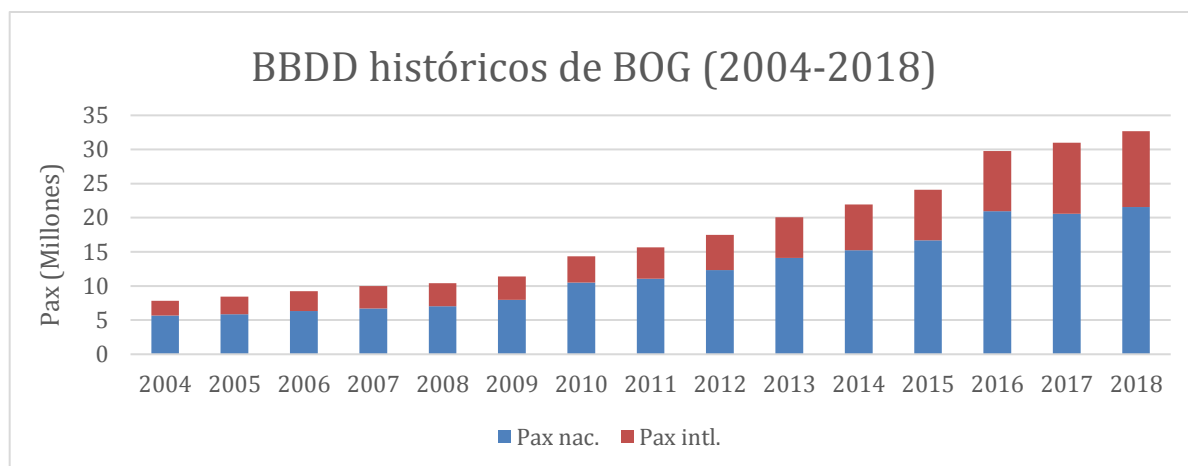
Figura 16. Estadísticas – Base de datos Pax

Figura 16. Estadísticas –Base de Datos (BBDD) histórica (2004-2018) con un promedio del 10,68% en crecimiento de Pasajeros comerciales de BOG anualmente. Fuente: Aerocivil. 2019

En el caso de la actividad de pasajeros nacionales, su incremento más significativo ocurrió entre el 2004 y el 2016 teniendo un aumento de casi 32% en el 2010. En el 2011, hubo un aumento de 5%. Por otro lado, para la actividad internacional, hubo un periodo de crecimiento considerable entre el 2010 y el 2016 teniendo crecimientos desde el 9% hasta llegar al 25%. Los últimos informes respecto al comportamiento de pasajeros de BOG dispuestos por Aerocivil disponen que en el año 2018 se movilizaron un total de 32'716.468 millones de pasajeros origen-destino (Pax. Nac 21'572.662 y Pax. Intl 11'143.806), lo que representa un crecimiento del 5,49% con relación al año 2017, equivalente a 1'702.214 de pasajeros totales comerciales.

Datos históricos de carga aérea transportada

La carga aérea es una actividad muy importante ya que BOG mueve el mayor volumen de carga en toda América Latina y el Caribe. Se presenta datos observados suministrados por el Grupo de Estudios Sectoriales de la Oficina de Transporte Aéreo de la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil (UAEAC) del transporte de carga aérea (FTK) para Carga nacional (Carga Nac.) y carga internacional (Carga Intl.), con sus respectivos porcentajes de crecimiento entre el año 1979 y 2018. La fig. 17, provee el crecimiento histórico de carga aérea transportada de BOG nacionales e internacionales durante los años descritos.

Figura 17. Estadísticas – Base de datos Crg

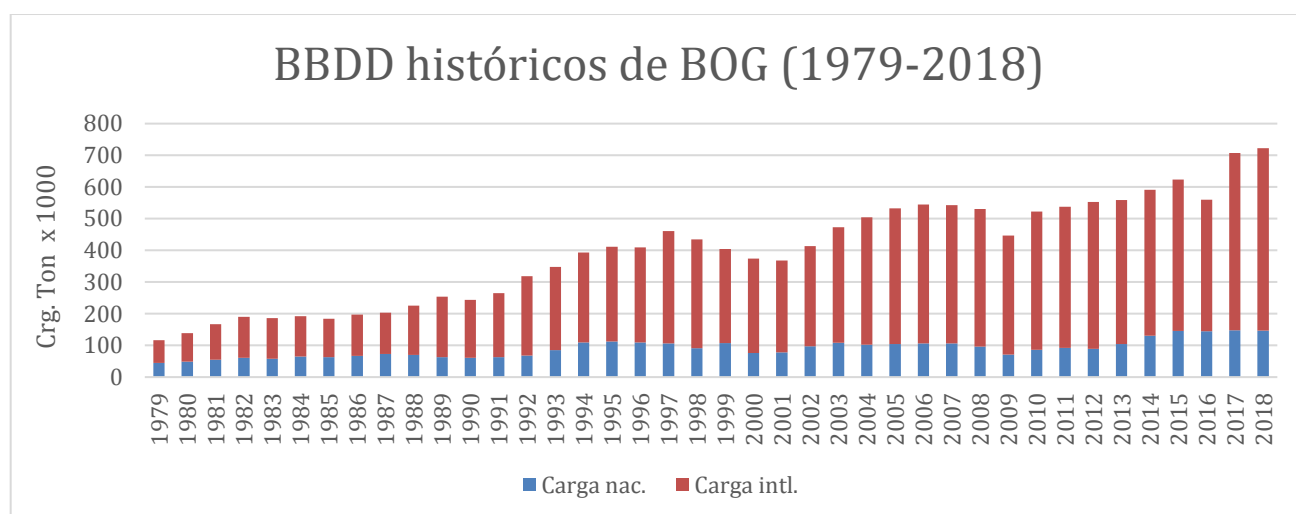


Figura 17. Estadísticas –Base de Datos (BBDD) histórica (1979-2018). Carga aérea en toneladas transportada (Grg) de BOG anualmente. Fuente: Aerocivil. 2019

El transporte de carga aérea en BOG, como muestra en la fig. 18, se evidencia declives conjugados o con similitud al transporte de carga internacional con las crisis económicas del

país tanto interiores como exteriores. Se evidencian el descenso notable de los años 2001 y 2009 donde hubo crisis económica global y ataques terroristas, como fue el 11 de septiembre del 2001 y para el año 2016, donde se presentó un déficit de la economía interna del país.

Pero ante todas estas adversidades, el crecimiento del transporte aéreo de BOG se ha triplicado en las últimas tres décadas. BOG es el principal aeropuerto del país, sin embargo, el desarrollo de su tráfico ha sido lento, no obstante, una vez privatizado, BOG ha sido capaz de solventar la creciente demanda del servicio que se empezó a presentar desde el año 2002.

Los datos históricos observados de transporte de Carga, tanto la Carga aérea Nacional más la Carga aérea Internacional ha tenido un crecimiento significativo con un promedio de (Carga Total.) 5,19%. La actividad de carga internacional ha tenido un crecimiento el último año (2018) de 2, 23 %, mientras que la nacional obtuvo un decrecimiento de -0,62%. La fig. 18, provee el crecimiento de carga transportada de BOG nacionales e internacionales durante el periodo comprendido entre 2001 y el 2018.

Figura 18. Estadísticas – Base de datos Crg

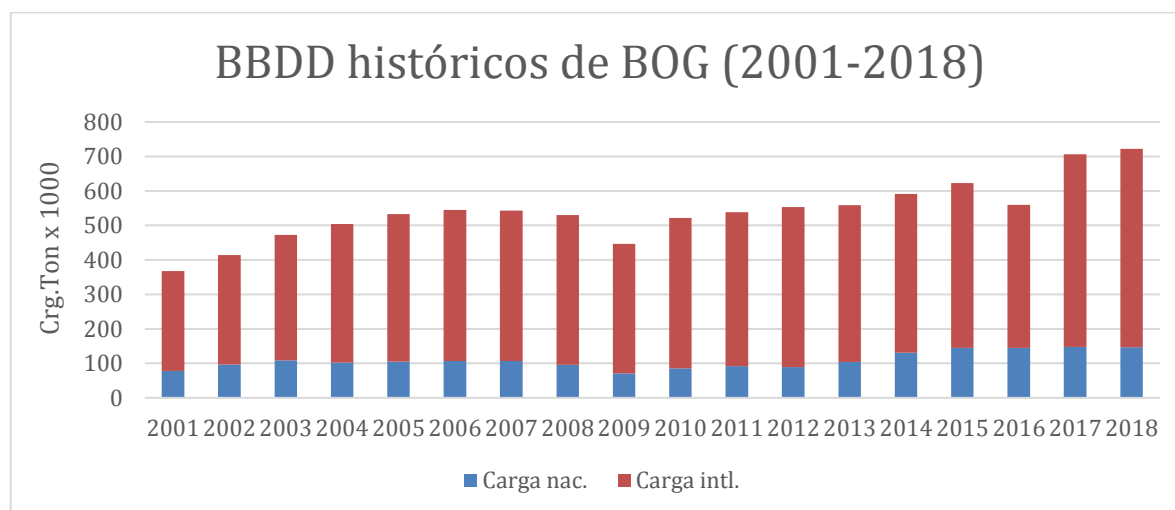


Figura 18. Estadísticas – Carga aérea en toneladas Transportada de BOG (2001-2018). Fuente: Aerocivil. 2019

Aunque el comportamiento de tráfico de pasajeros comerciales sea diferente al tráfico de carga, éste, se vuelve a normalizar luego de las caídas evidenciadas en algunos períodos, sobre todo la carga internacional, ya que la carga nacional muestra un muy bajo crecimiento en casi toda su historia. (Ramos & Cárdenas, 2016, p.39)

Los últimos informes respecto a la carga aérea transportada en BOG dispuestos por Aerocivil disponen que en el año 2018 hubo un movimiento total de 706.803 toneladas métricas con un cambio anual entre 2017-2018 del 2,23%.

Datos históricos de operaciones totales aéreas

BOG el principal Aeropuerto y centro de actividad comercial del país. Moviliza la mayoría de los pasajeros domésticos e internacionales, la mayor cantidad de carga aérea y tiene el mayor número de operaciones. Continuación se muestran los datos históricos de las operaciones aéreas en BOG durante el periodo comprendido entre 1979 y el 2018. Tanto el tráfico nacional como el internacional se han dividido en las siguientes categorías de vuelos:

- Operaciones de pasajeros comerciales
- Carga aérea
- Aviación militar
- Taxi aéreo
- Charters
- Aviación general/ corporativa

La fig. 19, es una representación gráfica del crecimiento histórico de las operaciones aéreas en el periodo estudiado.

Figura 19. Estadísticas – Base de datos O.A

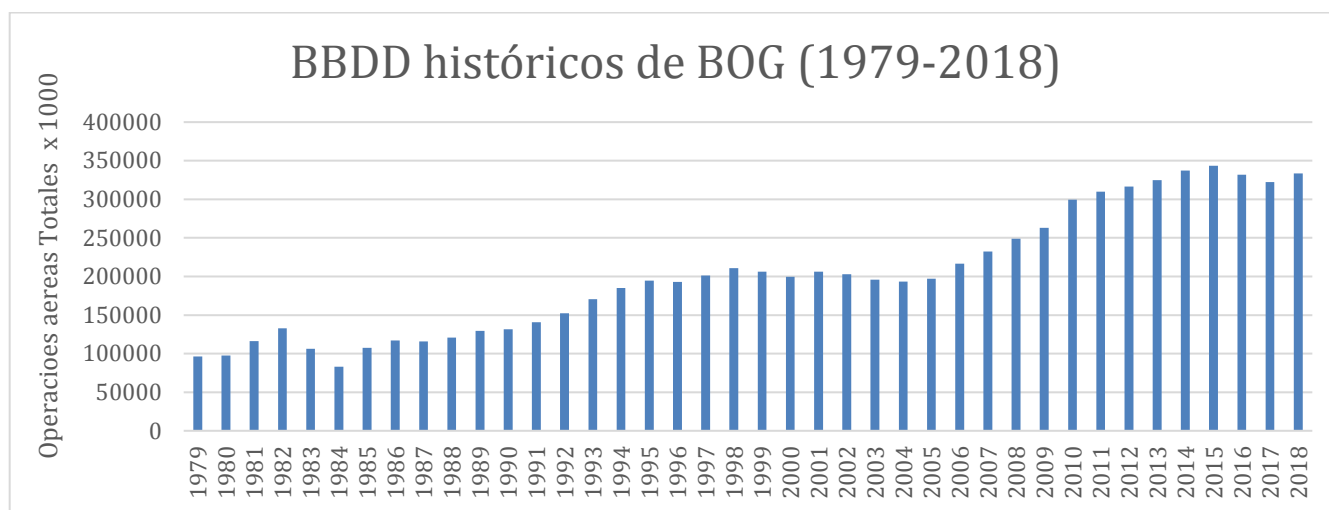


Figura 19. Estadísticas – Operaciones totales aéreas (nacional e internacional) de BOG (1979-2018). Fuente: Aerocivil, 2019

Existe una tendencia creciente en los últimos 13 años en las operaciones totales aéreas de BOG con excepción de los años 2016 y 2017 donde el número de vuelos descendió, aunque estos años no representaron caídas muy grandes en el tráfico, el promedio anual entre 2004 - 2018 fue del 3,72%.

Como se puede observar en la tabla.3, BOG es la principal terminal aérea de Latinoamérica en transporte de carga, el tercero en transporte de pasajeros y el segundo en número de operaciones. De igual manera, se observa que aún se encuentra muy lejos de aeropuertos europeos como el de Ámsterdam o el de Fráncfort.

Tabla 3***Características del tráfico aéreo***

<i>Ciudad del aeropuerto</i>	<i>Operaciones</i>	<i>Pasajeros (Anual en millones)</i>	<i>Toneladas (En miles)</i>
 Bogotá	322,129	33	706,80
 Sao Paulo	267,746	39	339,83
 Ciudad de México	448,142	41	446,92
 Ámsterdam	479,000	63	1,700
 Fráncfort	462,885	60,7	2,100
 Singapur	360,490	54,1	1,800

Nota: Características del tráfico aéreo de BOG en comparación con otros aeropuertos “hub”. Elaboración Propia (2019)

Como conclusión, es importante mencionar que BOG ha presentado unas tasas de crecimiento importantes, durante los últimos ocho años las toneladas y el número de pasajeros transportados han crecido un 6.59 % y un 7.7% al año, respectivamente.

(Aerocivil, 2016)

Capítulo 2.

Análisis Pronósticos de los Planes Maestros de BOG

Se analiza los últimos dos planes maestros que ejercieron la tarea de crear los pronósticos de la demanda del tráfico aéreo de BOG. Los pronósticos realizados se basaron en las diferentes variables estudiadas, como lo son: el comportamiento histórico de la actividad aeronáutica, el estudio de mercados relevantes, el estudio de variables económicas y socioeconómicas. Los pronósticos del comportamiento futuro de estas variables, estimados y realizados por el consultor o por fuentes de la industria para BOG se presentan a continuación:

Actualización del Plan Maestro 2011 del Aeropuerto Internacional El Dorado (2014)

En la actualización realizada en el año 2014 para el plan maestro del año 2011 (en adelante se hará referencia a dicho plan como “PM 2014”) está conformado por 15 tareas que para el presente proyecto es relevante la tarea 4 que refiere a “pronósticos de la demanda”

Teniendo en cuenta que el reglamento aeronáutico de Colombia-RAC Aerocivil, (2016c): “se establece que un plan maestro deberá ser actualizado cada tres años, se tuvo en cuenta para esta investigación la última actualización realizada en el año 2014, tomando como base el plan maestro del año 2011”.

La tarea 4, presenta los pronósticos de demanda para la actualización del plan maestro de BOG. Los pronósticos cubren un periodo de 30 años, de acuerdo a los términos de referencia. La tarea incluye proyecciones de número de pasajeros, toneladas de carga aérea y el número de operaciones totales aéreas. Los pronósticos se hicieron para tres periodos, a corto plazo (0-5 años), mediano plazo (6-10 años) y largo plazo (11-30 años).

Los escenarios de los pronósticos de demanda de pasajeros nacionales internacionales son contruidos a partir de percentiles de distribución cuya varianza es la obtenida por las series originales durante el período 2000-2011. Las proyecciones de pasajeros se realizaron bajo tres escenarios para generar un modelo macroeconómico compuesto:

1. Escenario bajo
2. Escenario base
3. Escenario alto

Para pronosticar los escenarios bajos y altos de la regresión lineal, el análisis ha considerado un PIB 0.75% más bajo y más alto que el proyectado por el Banco de la República y IHS Global Insight para Colombia y la región respectivamente. (PMA, 2014, P.66)

El PM 2014 tomó en cuenta factores económicos mundiales y locales que tienen un impacto en la actividad aeronáutica en Colombia como son los siguientes:

- Los pronósticos consideraron las variables a largo plazo y también que las condiciones económicas actuales son parte normal del ciclo económico.
- La globalización, la futura ampliación y la consolidación de alianzas económicas existentes, así como la implementación de nuevas alianzas y nuevos tratados de libre comercio tiene un impacto en la actividad aeronáutica del país.
- El crecimiento de la inversión extranjera en el país que tiene un impacto en su actividad comercial y aeronáutica por generar mayor cantidad de viajes de negocios.

En el PM 2014 tarea 4, la metodología que se propuso para los pronósticos de pasajeros nacionales e internacionales se basó en un modelo compuesto para estimar el

crecimiento. Resulta difícil proyectar ciertas variables macroeconómicas más allá de cinco años por que los indicadores pueden ser afectados por factores externos. El Banco de la República no tiene previsiones a largo plazo de variables como el IPC, TRM, y la totalidad de exportaciones e importaciones. (PMA, 2014, p. 60)

En la proyección compuesta considerada para los primeros 5 años de pasajeros nacionales se aplicó un modelo macroeconómico utilizando el PIB de Colombia, IPC, y población como variables independientes. El valor tiene una correlación de R^2 ajustado fue de 0,94 y el análisis de regresión fue aceptado entre las variables independientes (indicadores socio-económicos) y el tráfico aéreo de pasajeros nacionales. Para los siguientes años, la evaluación ha considerado que el mercado doméstico tendrá un número finito de destinos y de frecuencias; por lo tanto, el factor de crecimiento se irá reduciendo gradualmente con el tiempo. Se tomaron en cuenta los pronósticos que ha hecho Airbus para el mercado doméstico de américa del sur, el cual proyecta un crecimiento anual de 3.81% en el periodo 2011-2041. Los resultados del pronóstico del modelo de regresión lineal compuesto (escenario bajo, base y alto) para pasajeros nacionales proyectaban 3 aumentos distintos en el tráfico de pasajeros:

- Para el escenario bajo de 14,5 Mpax/año en 2011 a 38,3 Mpax/año en 2041, con un promedio de crecimiento anual del 3,3% durante el período del pronóstico,
- Para el escenario base de 14,5 Mpax/año en 2011 a 44,4 Mpax/año en 2041, con un promedio de crecimiento anual del 3,8% durante el período del pronóstico y
- Para el escenario alto de 14,5 Mpax/año en 2011 a 52,5 Mpax/año en 2041, con un promedio de crecimiento anual del 4,4% durante el período del pronóstico.

Para los pronósticos de pasajeros internacionales, se generó un modelo de regresión lineal con el PIB, TMR colombiano, como la variable independiente. El valor tiene una

correlación de R^2 ajustado fue de 0,96 y el análisis de regresión fue aceptado con una correlación significativa entre las variables independientes y el tráfico de pasajeros internacionales. El crecimiento promedio anual en el periodo pronosticado (30 años) es de 4.95%. Para pronosticar los escenarios bajos y altos de la regresión lineal, el análisis considero un PIB 0.75% más bajo y más alto que el proyectado por el Banco de la República y por la industria IHS Global Insight para Colombia y la región respectivamente (IHS Global Insight ha estimado un crecimiento promedio anual de 4.1% del PIB para América Latina en los próximos veinte años). Los resultados del pronóstico del modelo de regresión lineal compuesto (escenario bajo, base y alto) para pasajeros internacionales proyectaban 3 aumentos distintos en el tráfico de pasajeros:

- Para el escenario bajo de 5,8 Mpax/año en 2011 a 19,4 Mpax/año en 2041, con un promedio de crecimiento anual del 4,08% durante el período del pronóstico,
- Para el escenario base de 5,8 Mpax/año en 2011 a 24,8 Mpax/año en 2041, con un promedio de crecimiento anual del 4,95% durante el período del pronóstico y
- Para el escenario alto de 5,8 Mpax/año en 2011 a 30,1 Mpax/año en 2041, con un promedio de crecimiento anual del 5,63% durante el período del pronóstico.

Figura 20. Proyección pasajeros nacionales (Pax. Nac) (Millones) según los escenarios

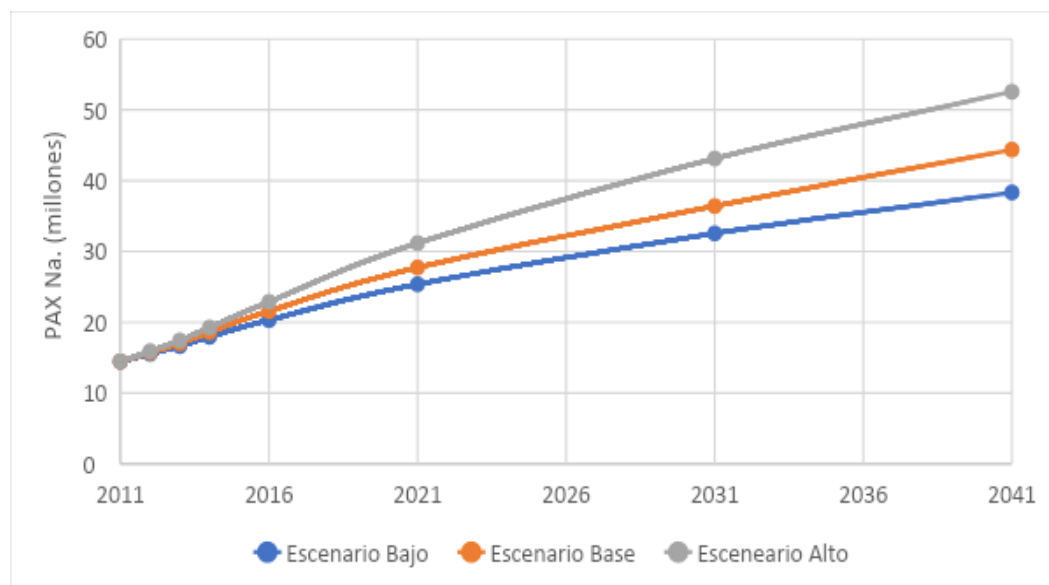


Figura 20. Proyecciones de pasajeros nacionales regresión lineal observados por PM 2014. Fuente: Aerocivil. 2014.

Figura 21. Proyección pasajeros internacionales (Pax.Intl) (Millones) según los escenarios

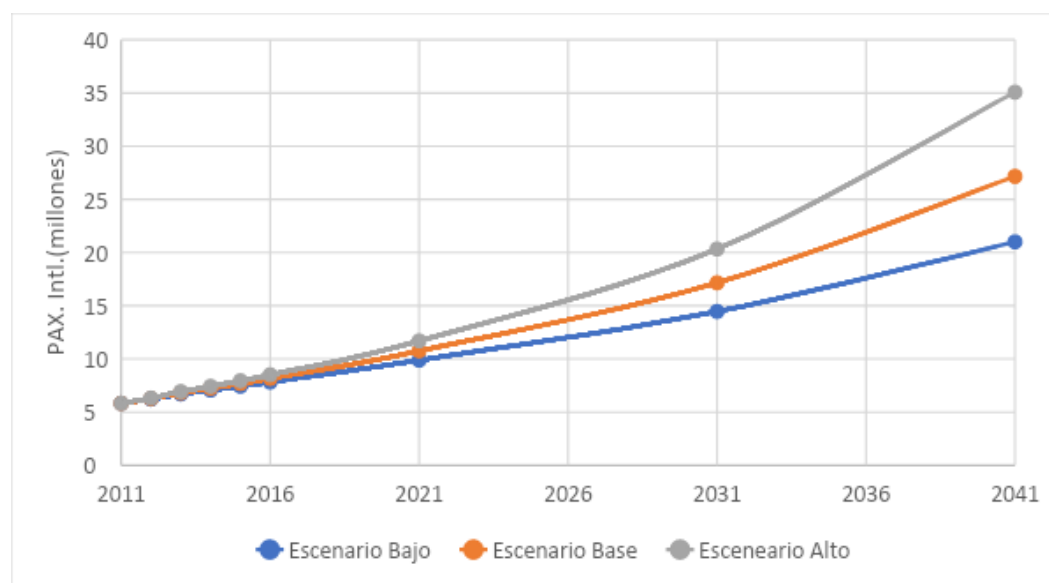


Figura 21. Proyecciones de pasajeros internacionales regresión lineal observados por PM 2014. Fuente: Aerocivil. 2014.

El tonelaje histórico en el PM 2014 de carga aérea en BOG, fue registrado en segmentos de entrada y de salida para los mercados nacionales e internacionales. Debido a la volatilidad del mercado mundial de carga aérea, así como el mercado nacional de carga aérea en Colombia, ni el segmento de carga nacional ni el internacional (ni de entrada ni de salida) mostraron correlaciones significativas con las variables socioeconómicas examinadas.

Con el fin de proyectar la carga aérea nacional se aplicaron análisis de tendencias a los tonelajes de carga histórica en cada segmento nacional. Para proyectar la carga internacional se elaboró un conjunto de tasas de crecimiento compuesto, que se aplicó a los segmentos internacionales de carga aérea, incorporando la influencia de las tasas de crecimiento de carga aérea regional de Airbus (informe Global Market Forecast 2011-2030 establece un crecimiento de 5.9% entre el 2011 y 2020 y 4.8% entre el 2021-2030 para América Latina) con las tendencias históricas. (PMA, 2014)

A continuación, se presentan los pronósticos PM 2014 realizados en el mencionado estudio:

Proyección carga aérea nacional (Crg. Nac)

El análisis de los pronósticos de la demanda de carga nacional tomó en cuenta que Colombia ha estado realizando mejoras significativas a su red de carreteras para facilitar el acceso entre diferentes comunidades del país. Conforme se vaya implementando las mejoras a sus vías de acceso, incluyendo ampliación a doble calzada y nuevas carreteras, el transporte de carga se va a hacer más económico y competitivo con respecto a la carga aérea, por lo tanto, tendrá un impacto en el volumen de carga aérea nacional. El análisis también ha tomado en cuenta que en varias regiones del mundo – principalmente en América del Norte y Europa

Occidental – los operadores de carga como Fedex, Ups y Dhl mueven su carga en camiones cuando la distancia es menor a 800 – 1200 km, siempre y cuando haya una red de carreteras adecuadas para facilitar el servicio. Ciudades como Cali y Medellín se encuentran a menos de 800 km de Bogotá. La tendencia de la carga nacional fue de un crecimiento del 3.00% promedio anual en ambos sentidos en el periodo de 2000-2011. Se consideró que se mantendría esta tendencia con una leve reducción en el futuro. El crecimiento promedio anual fue de 3,9 %.

Figura 22. Proyección carga aérea nacional (Crg. Nac)

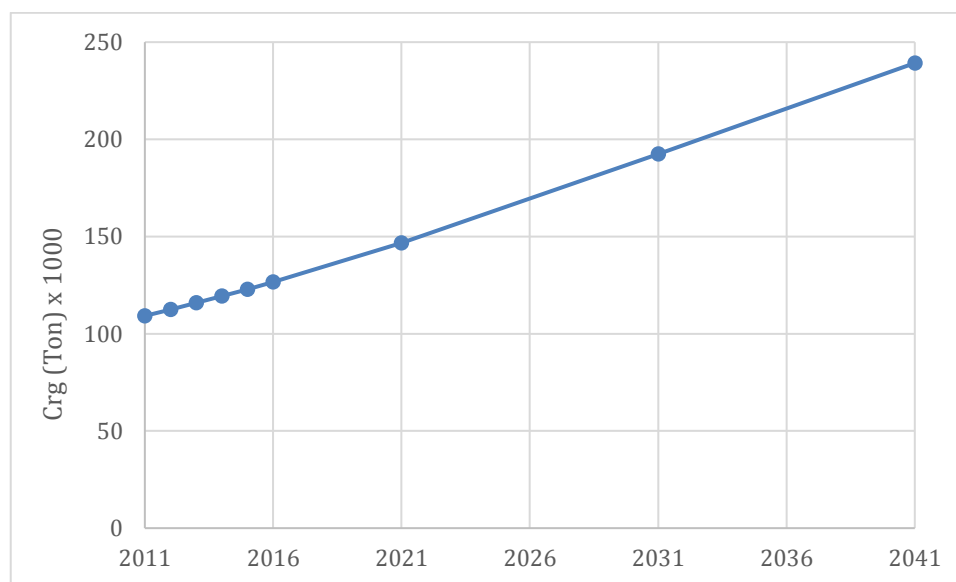


Figura 22. Proyecciones de carga nacional toneladas métricas observados por PM 2014. Fuente: Aerocivil. 2014

Proyección carga aérea internacional (Crg. Intl)

Boeing prepara pronósticos de demanda para todo el mundo, incluyendo Latino América. Boeing predice un crecimiento promedio anual de 5.9% para américa latina. Las anteriores, con una tendencia decreciente en los últimos años del periodo

proyectado, se han usado para los pronósticos de la demanda de carga internacional. Las proyecciones del modelo macroeconómico tienen tendencias diferentes a las históricas, ya que la carga saliente crece a una proporción mayor cuando en los últimos doce años ha sucedido lo contrario. Como los factores de correlación para las dos regresiones no son estadísticamente significativo, para usar en los pronósticos de la demanda de carga aérea, se usó un modelo compuesto por las regresiones lineales y complementadas con los estudios y proyecciones de Boeing en su “current market outlook” El crecimiento promedio anual fue de 4,95 %. (PMA, 2014)

Figura 23. Proyección carga aérea internacional (Crg. Intl)

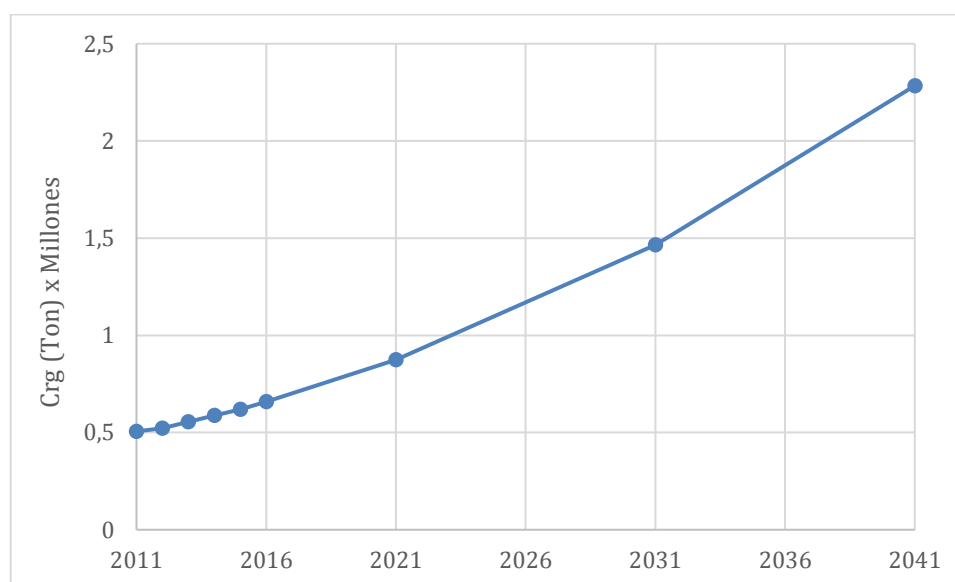


Figura 23. Proyecciones de carga aérea internacional toneladas métricas observados por PM 2014. Fuente: Aerocivil. 2014

Figura 24. Proyección para operaciones aéreas totales (nacional más internacional)

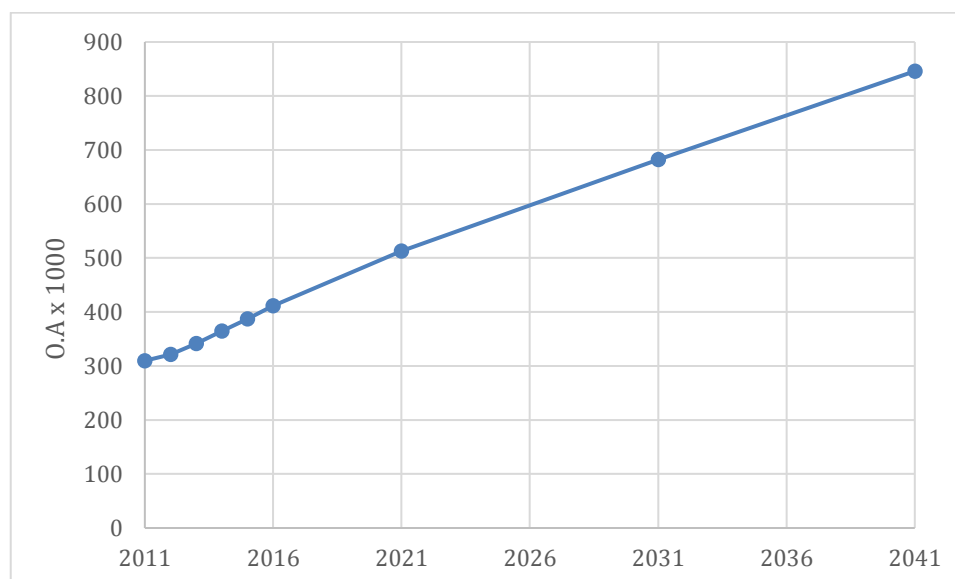


Figura 24. Proyecciones de operaciones aéreas totales observados por PM 2014. Elaboración propia (2019)

Análisis técnico de la viabilidad operacional y elaboración del Plan Maestro aeroportuario para el proyecto de infraestructura ElDorado II

Dentro del contrato titulado: "Análisis técnico de la viabilidad operacional y elaboración del plan maestro aeroportuario para el proyecto de infraestructura ElDorado II", realizado en el año 2015, el consultor de dicho proyecto realizó un "Pronóstico Afinado 2015" con respecto al del PM 2012 en adelante "PA 2015". El pronóstico de la demanda del transporte aéreo para un segundo aeropuerto potencial en Bogotá denominado El Dorado II se elaboró teniendo en cuenta la demanda proyectada para BOG, las posibles estrategias de desarrollo de El Dorado II, y los sectores de demanda a servir en cada uno de los dos aeropuertos. (PM, 2015, p. 19)

En el PA 2015, la metodología que se propuso para los pronósticos de pasajeros nacionales e internacionales se basó en un modelo de regresión lineal multivariante. En la proyección de pasajeros nacionales se aplicó un modelo econométrico utilizando el PIB de Colombia, IPC, y Población como variables independientes y se incluyó una variable ficticia con un valor de 1,0 para el punto de datos del año 2009. Este valor ficticio de 1,0 se utilizó para explicar una anomalía en las diferencias de las magnitudes de cambio del PIB y de los pasajeros nacionales de ese año. El valor de correlación R^2 ajustado fue de 0,94 y el análisis de regresión fue aceptado entre las variables independientes (indicadores socio-económicos) y el tráfico aéreo de pasajeros nacionales. Luego de este año, se pronunció un alza del mercado aéreo nacional de Colombia, las tasas de crecimiento anuales previstas se ajustaron para incorporar una reducción gradual de 6,55 en 2016 a una tasa de crecimiento anual del 2,0 % en 2031 hasta 2041 lo que conlleva que el pronóstico permita la expansión interna continua en el corto plazo antes de reflejar madurez del mercado. Los resultados del pronóstico para pasajeros nacionales proyectaron un aumento en el tráfico de pasajeros de 14,5 Mpax/año en 2011 a 44,4 Mpax/año en 2041, con un promedio de crecimiento anual del 3,8% durante el período del pronóstico. (Díaz, O. 2018, p. 10)

Para los pronósticos de pasajeros internacionales, se generó un modelo de regresión lineal con el PIB colombiano como la variable independiente. El valor de R^2 fue de 0,97 y el análisis de regresión fue aceptado con una correlación significativa entre las variables independientes y el tráfico de pasajeros internacionales. El pronóstico resultante para pasajeros internacionales proyectaba un aumento de 5,8 Mpax/año en 2011 a casi 24,9 Mpax/año en 2041. El crecimiento previsto en tráfico de pasajeros

internacionales en un período de pronóstico de 30 años representa una tasa media de crecimiento anual del 5,0%. (Díaz, O, 2018, p. 10)

A continuación, se presentan los PA 2015 de BOG realizados en el mencionado estudio:

Figura 25. Proyección pasajeros nacionales (Pax.Nac)

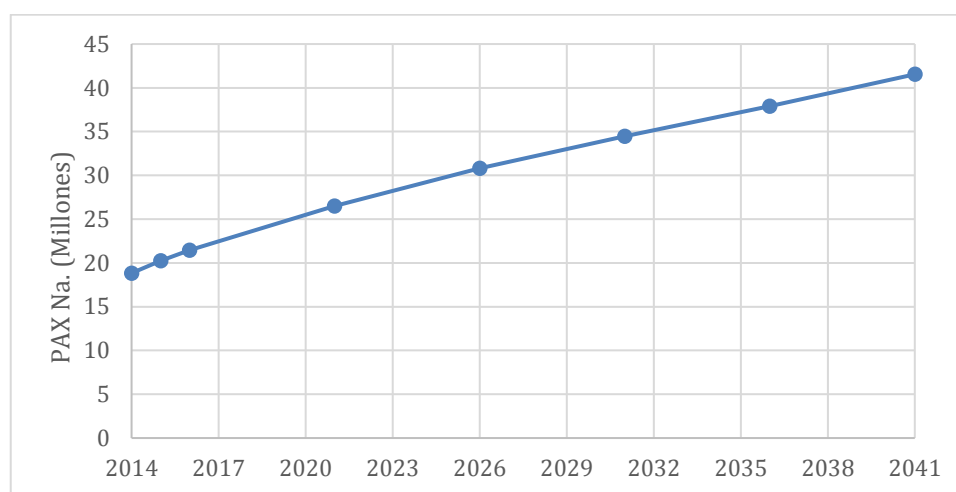


Figura 25. Proyecciones de pasajeros nacionales regresión lineal observados por PA 2015. Fuente: Aerocivil. 2015

Figura 26. Proyección pasajeros internacionales (Pax. Intl)

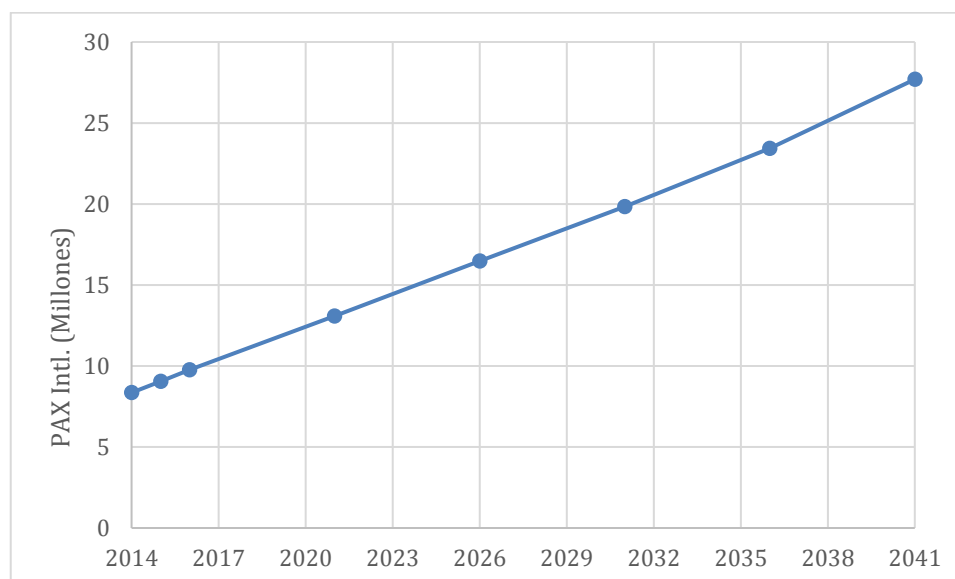


Figura 26. Proyecciones de pasajeros internacionales regresión lineal observados por PA 2015. Fuente: Aerocivil. 2015

El tonelaje de carga aérea nacional aumentó por encima de lo que estaba previsto en el pronóstico del Plan Maestro de 2012, lo cual, puede estar vinculado a la incorporación de nuevos mercados nacionales y la capacidad de transportar la carga dentro de Colombia de manera más eficiente por el aire que por carretera, debido a las limitaciones de infraestructura. (PM, 2015, p. 19)

Figura 27. Proyección carga aérea nacional (Crg.Na)

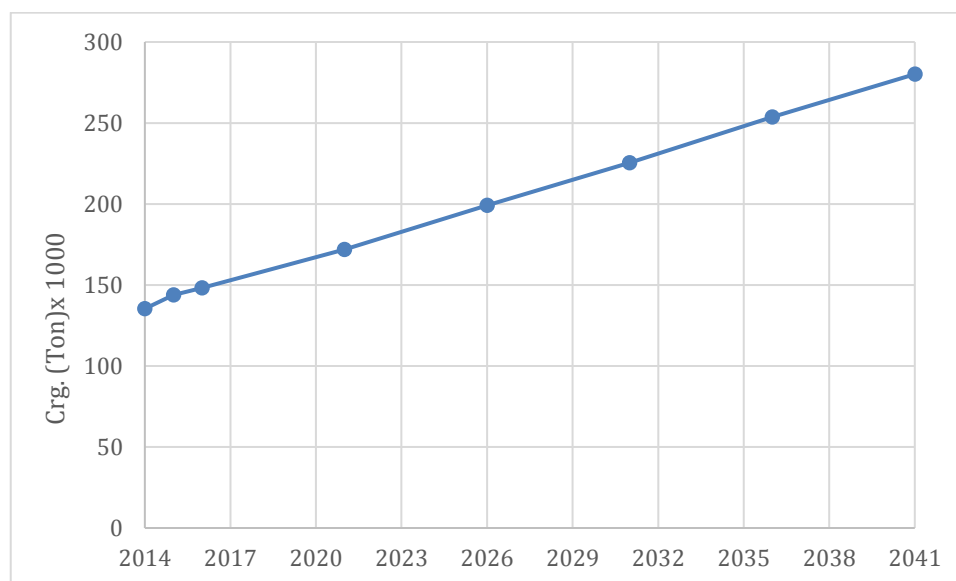


Figura 27. Proyecciones de carga aérea nacional toneladas métricas observados por PA 2015. Fuente: Aerocivil. 2015

Figura 28. Proyección carga aérea internacional (Crg. Intl)

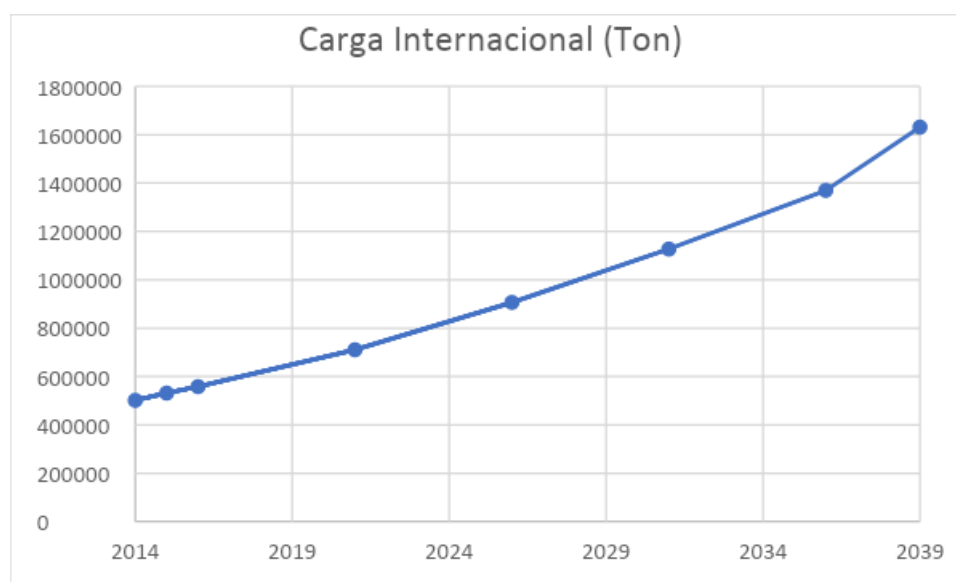


Figura 28. Proyecciones de carga aérea internacional toneladas métricas observados por PA 2015. Fuente: Aerocivil. 2015

Figura 29. Proyección para operaciones aéreas totales (O.A) (nacional más internacional)

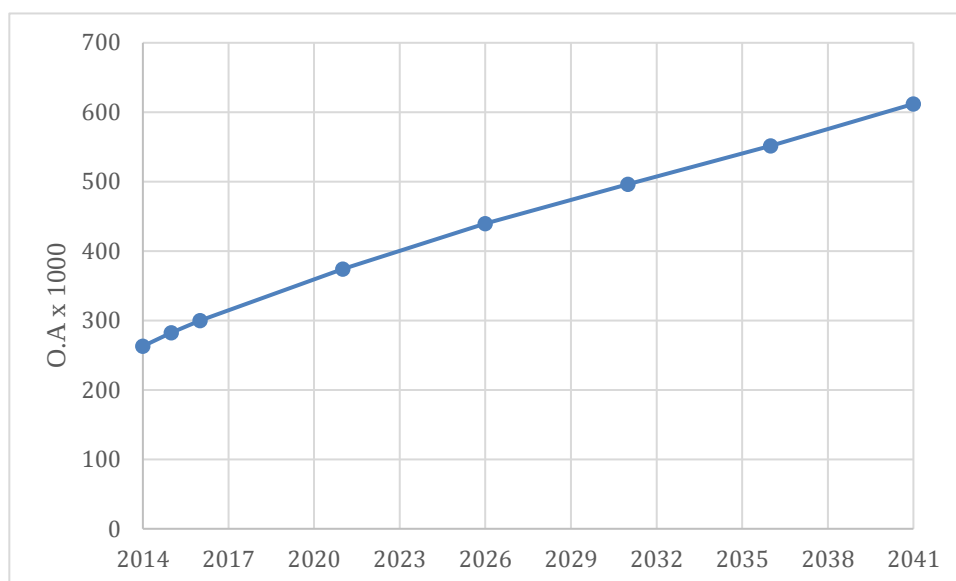


Figura 29. Proyecciones de operaciones aéreas totales métricas observados por PA 2015. [Gráfico]. Fuente: Aerocivil. 2015

Metodología de pronóstico de la demanda aeronáutica de BOG a mediano plazo (4 años)

Como se mencionó en el marco teórico, existen modelos usados para el pronóstico de la demanda en el tráfico aéreo de BOG, de esta manera, en el presente capítulo, se argumenta la metodología de este proyecto. El proyecto se desarrolló bajo los lineamientos de la investigación de tipo histórico con un enfoque cuantitativo, puesto que se realizaron análisis estadísticos los cuales fueron expresados de forma numérica para su interpretación.

La demanda aeronáutica, potencialmente, puede tener una buena correlación con algunas variables socioeconómicas de Colombia y a la ciudad que sirve (Bogotá D.C). Estas, pueden ser tales como: el Producto Interno Bruto (**PIB**), el Producto Interno Bruto Per Cápita (**PIB_PERCAPITA**), la población en la Ciudad de Bogotá (**POB**), las exportaciones (**EXP**) e

importaciones (**IMP**), el Índice de Precios al Consumidor (**IPC**), el Índice de Producción Industrial (**IPI**) y la tasa de cambio representativa del mercado (**TRM**). Estas variables socioeconómicas, se han tomado en consideración para la preparación de los pronósticos de la demanda de BOG. Se han obtenido datos de entidades estatales como el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), el Banco de la República y también de instituciones internacionales como el Fondo Monetario Internacional (FMI). Finalmente, se han revisado informes y documentos relevantes del Banco Mundial (BM) y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

Los datos para el pronóstico de la demanda en BOG, como se expresó en la información histórica del tráfico aéreo de BOG, se obtuvieron del Grupo de Estudios Sectoriales de la Oficina de Transporte Aéreo de Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil (UAEAC). Las estadísticas de Aerocivil incluyen pasajeros (**PAX**) nacionales e internacionales, carga (**CRG**) nacional e internacional, operaciones aéreas totales (**O.A**) de pasajeros, carga, aviación militar, taxi aéreo, charters y aviación general/corporativa, tanto para el mercado nacional como para el internacional. Los datos históricos (BBDD) de tráfico aéreo obtenidos cubren el periodo de las últimas cuatro décadas, 1979 a 2018.

Una de las consideraciones más importantes durante el desarrollo de los pronósticos es que las previsiones sean flexibles y que puedan ser fácilmente revisadas con el tráfico actualizado. Para realizar estas actualizaciones es importante anotar la importancia de una base de datos consistente y actualizada. La recomendación es que las actualizaciones a los pronósticos de la demanda se hagan como mínimo cada 4 o 5 años, pero más frecuentemente si la actividad está experimentando mucha variabilidad. (PMA, 2014, p.5)

Para esta investigación se escogió el análisis econométrico, ya que es uno de los métodos más usado para el pronóstico de tráfico aéreo. Como es habitual en los modelos econométricos para pronosticar la demanda de transporte aéreo, en la metodología de cálculo se desarrolla el análisis estadístico de un modelo econométrico de regresión que trata de explicar la relación que existe entre una variable dependiente (variable respuesta) y un conjunto de variables independientes (variables explicativas) $x_1, \dots, x_n$. En un modelo de regresión lineal simple, se pretende explicar la relación existente entre una variable respuesta y una variable predictora o independiente, mientras que en uno múltiple las variables respuestas se modelan en base a dos o más predictoras.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + e_i$$

Ecuación 2. Modelo de regresión múltiple

Donde,

$Y =$ *Variable dependiente.*

$\beta_i =$ *Coefficientes del modelo, son calculados por el programa estadístico.*

$X_i =$ *Variables independientes o explicativas.*

$e_i =$ *Error*

El método de estimación empleado debe asegurar que los β_i sean lo más parecido posible a los parámetros socioeconómicos, lo que implica que los estimadores deben cumplir insesgabilidad y eficiencia. Además, los residuos deben ser tan pequeños para que el modelo sea ajustado.

En el caso más general, un problema de ajuste se reduce a uno de minimización (del **chi2**³). Sin embargo, cuando $\lambda(x;\theta)$ es una función lineal de los parámetros el problema puede tratarse analíticamente, se trata del caso:

$$\lambda(x; \vec{\theta}) = \sum_{j=1}^m a_j(x) \theta_j$$

Ecuación 3. Función con máxima verosimilitud y en el que se basa el método de mínimos cuadrados para hallar el ajuste más óptimo.

$$\lambda(x; \vec{\theta}) =$$

se requiere que la función sea lineal en los parámetros, no que las funciones $a_j(x)$ sean lineales en

$$a_j(x) = \text{son funciones de } x.$$

Por último para la realización de la regresión lineal múltiple, se integró una función (Regresión polinómica) tipo de ajuste de curvas a las covariables mediante suavizados en los que el ajuste en x se realiza utilizando únicamente observaciones en el entorno de x , mediante una técnica de regresión local ponderada. Al realizar una regresión local se utiliza una familia paramétrica al igual que en un ajuste de regresión global pero solamente se realiza el ajuste localmente. En la práctica se realizan ciertas suposiciones:

³ El objetivo del método de mínimos cuadrados es estimar el vector de parámetros θ . Además, el método permite evaluar la bondad con la que la función $\lambda(x,\theta)$ ajusta los datos experimentales.

- Sobre la función de regresión $\mu(\cdot)$ tales como continuidad y derivabilidad de manera que pueda estar bien aproximada localmente por polinomios de un cierto grado.
- Sobre la variabilidad de Y alrededor de la curva $\mu(\cdot)$, por ejemplo variabilidad constante

Los métodos de estimación que resultan de este tipo de modelos son relativamente simple:

- Para cada punto x , se define un entorno o ventana x_0 (en alguna métrica en el espacio de diseño d -dimensional de las variables independientes).
- Dentro de ese entorno suponemos que la función regresora es aproximada por algún miembro de la familia paramétrica que podría ser de polinomios cuadráticos

$$: g(u) = a_0 + a_1(u - x) + a_2(u - x)^2.$$

Ecuación 4. Polinomio cuadrático para regresión local

- Luego se estiman los parámetros con las observaciones en el entorno.
- El ajuste local es el la función ajustada evaluada en x .

Generalmente se incorpora una función de peso en el modelo, $w(z)$, para dar mayor peso a los valores x_0 que se encuentran cerca de x . Los criterios de estimación dependen de los supuestos que se realicen sobre la distribución de las Y 's. Este parámetro de suavizado

(entre 0 y 1) que representa la proporción de observaciones que se utilizarán en la regresión local. La selección del parámetro de suavizado puede ser automática. Según el tamaño de la ventana (width), tendremos mayor o menor suavizado en el ajuste, generalmente se calcula según el porcentaje de datos que cae dentro de la ventana (span=0.5 significa que la ventana se selecciona de tal manera de que el 50% de los datos caigan dentro de cada ventana, con el x_0 como centro).

Figura 30. Método de suavizado LOESS

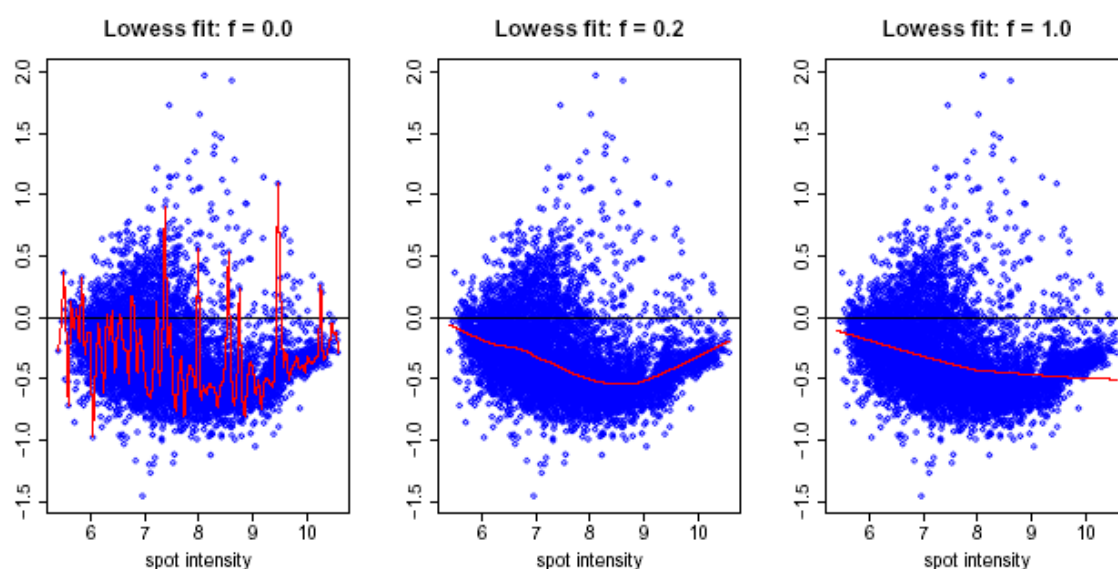


Figura 30. Método de suavizado LOESS mediante criterios de medición (span). Fuente Y. H. Yang, S. Dudoit, P. Luu and T. P (2011). Extraído de: http://www.improvedoutcomes.com/docs/WebSiteDocs/PreProcessing/Normalization/Two_Color_Data_sets/Overview_of_Lowess_Normalization.htm

Se vuelve a mencionar que como herramienta de cálculo de los pronósticos se utiliza un software de punta como lo es RStudio. Una de las mejores formas de utilizar R es para análisis estadísticos de todo tipo. Una de las operaciones estadísticas más frecuentes y que en

R son triviales es la regresión lineal. Este pequeño script nos permite importar datos extraídos de un CSV (de un .TXT o cualquier otro formato), que antes se debe exportar desde cualquier web de datos (el INE, OCDE o Eurostat permite descargar los datos directamente en CSV) o que también desde cualquier programa como Excel, Open Office o Google Drive. (Rodríguez, 2016)

`lm()` es la función de R para ajustar modelos lineales. Dado que en un modelo lineal las variables no son simétricas se usó una sintaxis especial para introducirlas al modelo, señalando cuál está del lado izquierdo y cuál(es) del lado derecho, es decir, cuál es la dependiente (variables aeronáuticas) y cuál es la independiente (indicadores socioeconómicos). Esa sintaxis especial se llama notación de fórmula y utiliza el símbolo `~` para separar el lado izquierdo del lado derecho. A la izquierda de `~` se ubica la variable dependiente, a la derecha la(s) independiente(s). Usualmente no trabaja con vectores sueltos y si no que se utiliza una `data.frame` (BBDD) que reúne a todas las variables de interés. En este caso, se usó los nombres de columna y se agrega el argumento `data=nuestro.data.frame` para indicar el entorno en el que debe buscar esos nombres.

`lm()` permite ajustar modelos con más de una variable independiente (como lo es el caso de estudio. Del lado derecho unimos predictores3 con el signo `+`. Adicionalmente podemos utilizar los signos `*` para especificar interacciones entre dos variables y `:` para las interacciones y los efectos directos.

Figura 31. Sintaxis básica Lm

```
`lm(dependiente~independiente1+independiente2, data=datos)`

#Modelo 1
marginacion %>% #Datos
  filter(AÑO=="2015" & ENT!="Nacional") %>% #Manipulación de datos: filtro datos de 2015 y para entidades federativas
  lm(PO2SM~SPRIM, data=.) -> #data=. lo hereda de %>%
  moli1 #Asigno un nombre al objeto para explorar después. No habrá salida en consola.
```

Figura 31. Sintaxis básica de comando Lm en Rstudio. Fuente: Paladino, M. 2017. Recuperado de: https://www.institutomora.edu.mx/testU/SitePages/martinpaladino/modelos_lineales_con_R.html#fnref3

Estadísticos relevantes del modelo de regresión múltiple

Los parámetros de la matriz de coeficientes de mínimos cuadrados de cada modelo se reportan en una **ANOVA**⁴, donde guarda particular interés los siguientes elementos.

- Estadístico F: Valor del estadístico correspondiente a la distribución de Fisher.
- Valor p: probabilidad asociada al estadístico.
- R^2 : Entre más cercano al 1.00, mejor es la correlación entre las variables

consideradas. Para propósitos de los pronósticos de demanda aeronáutica del plan maestro solo se consideran relevantes regresiones que tengan una correlación con R^2 mayor o igual al 0.90.

⁴ Un modelo ANOVA de un factor se puede expresar usando variables indicadoras suficientes para coordinar el grupo. Para poder interpretar comodamente los resultados es importante que los grupos sean equilibrados (cada muestra debe tener un número similar de elementos).

Datos

Los datos históricos (BBDD) que se usarán en el pronóstico de demanda en cada variable para BOG, tiene periodicidad anual entre 1979 y 2018. Para ello, el modelo econométrico utilizó los siguientes datos:

Las variables respuesta aeronáuticas del transporte aéreo; periodo de la serie (anual): 1979-2018 (40 años) consideradas en el presente estudio son:

- Pasajeros (Nac. / Intl.) de BOG
- Carga aérea (Nac. / Intl.) de BOG
- Operaciones totales (Nac. / Intl.) de BOG

Las variables (exógenas-independientes) socio-económicas; periodo de la serie (anual): 1979-2018 (39 años), entre paréntesis y negrita se especifica el indicador usado en cada una de las metodologías del pronóstico que están consideradas en el presente estudio son:

- El Producto Interno Bruto (PIB)* **(Bogotá)**
- PIB Per Cápita (PIB_PERCÁPITA) * **(Bogotá)**
- Población (POB)* **(Bogotá)**
- Índice Producción Industrial (IPI)* **(Colombia)**
- Total Exportaciones. (millones USD) * **(Colombia)**
- Total Importaciones. (millones USD) * **(Colombia)**
- Índice de Precios al Consumidor (IPC)* **(Colombia)**
- Tasa Representativa del Mercado (TRM)* **(Colombia)**

Como se puede evidenciar, la diferencia entre la presente metodología de pronóstico a mediano plazo y las realizadas en los planes maestros (a corto plazo, mediano plazo y largo plazo) de BOG antes mencionados son tres:

- Se utilizan series temporales más extensas (más del doble de años que en los Planes Maestros),
- Sólo para tener valores comparativos, el pronóstico, además, de los indicadores socio-económicos nacionales (como en los planes maestros), también se realizó, independientemente, con variables socio-económicas de la ciudad de Bogotá, a quién de verdad sirve el aeropuerto, y
- A pesar de contar con series de tiempo mucho más extensas, el pronóstico sólo se realizó para el mediano plazo (4 años), ya que así y todo, no hay garantías de fiabilidad de las proyecciones más allá de ese tiempo. (Díaz. O, 2017)

Resultados

Para la estimación de los pronósticos de los indicadores socioeconómicos (covariables) se utilizó como referencia el marco fiscal de mediano plazo emitido por el Ministerio de Hacienda y Crédito Público en 2019, ajustándolo a un escenario conservador en el mediano plazo. Por lo consiguiente, se busca que los resultados de los pronósticos de tráfico no sean excesivos y vayan de acuerdo con la pérdida de precisión en el tiempo que presentan pronósticos hasta el mediano plazo (4 años). Teniendo en cuenta esta referencia, se llevó a cabo un suavizamiento y una extrapolación hasta el año 2023 de las diferentes covariables con la técnica de regresión local polinomial. El proceso anterior se desarrolló mediante la función loess del paquete estadístico R.

Figura 32. Suavizamiento y extrapolación de las covariables

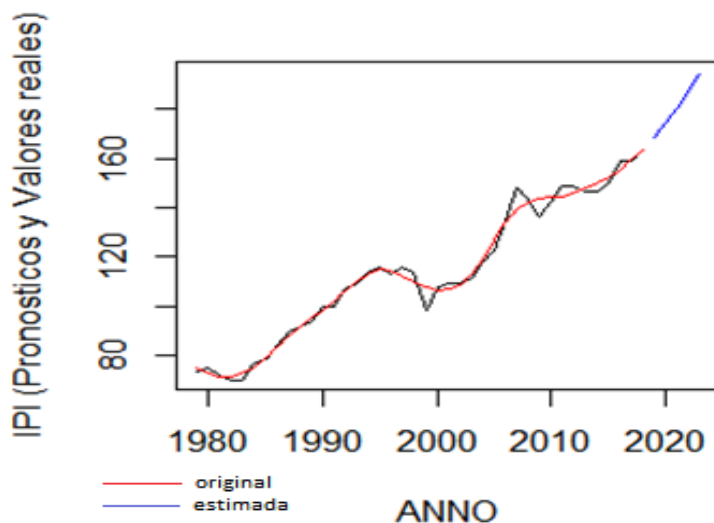


Figura 32. suavizamiento y extrapolación hasta la proyección del año 2023 de las diferentes covariables (indicadores socioeconómicos), con la técnica de regresión local polinomial (Loess). Fuente: Elaboración propia

A continuación se presentan los resultados de los pronósticos de demanda del transporte aéreo para el periodo contenido entre 2019-2023 (Pax Nac., Pax Intl., Crg Nac., Crg Intl. y O.A) que permiten especificar y estimar correctamente un modelo econométrico de regresión multivariada con covariables ajustadas por loess. Se han escogido las proyecciones que son más representativas de las condiciones y posibilidades del mercado.

Pasajeros Nacionales

Al realizar el análisis de la ANOVA asociado al modelo econométrico de regresión lineal múltiple con la variable respuesta pasajeros nacionales se obtiene:

```
> summary(MODELO)
Call:
lm(formula = formula_modelo, data = df_pronosticoInterpolacion)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-1556840  -285357   -27960    325902   1715897

Coefficients:
(Intercept)          5.502e+09  1.083e+09    5.081  1.85e-05 ***
ANNO              -2.816e+06  5.538e+05   -5.084  1.84e-05 ***
PIB_Completo        3.531e+02  5.179e+01    6.818  1.46e-07 ***
PIB_PERCAPITA_Completo -1.532e+00  5.289e-01   -2.897  0.00697 **
POBLACION_Completo    2.307e+01  4.139e+00    5.575  4.60e-06 ***
IPI_Completo        -7.900e+04  2.811e+04   -2.810  0.00864 **
EXPORTACIONES_Completo -1.301e+02  4.951e+01   -2.629  0.01338 *
IMPORTACIONES_Completo  1.090e+02  4.538e+01    2.401  0.02274 *
IPC_Completo        -7.557e+04  3.650e+04   -2.071  0.04710 *
TRM_Completo        -1.364e+03  7.619e+02   -1.791  0.08342 .
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 716300 on 30 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.9853, Adjusted R-squared:  0.9809
F-statistic: 223.7 on 9 and 30 DF, p-value: < 2.2e-16
```

De acuerdo al valor del estadístico de la ANOVA, $F=223,7$ y el p valor asociado ($p=2.2e-16$, $p<0.05$), existe evidencia estadística que señala un modelo lineal significativo (más de una variable significativa) entre las variables predictores o independientes con la variable cantidad de pasajeros. Por otra parte el R^2 ajustado es bastante alto ($R^2 = 0.9809$), lo que confirma un modelo lineal fuerte y adecuado para realizar estimaciones.

Al analizar la significancia de cada una de las variables, se aprecia que las variables significativas ($p<0.05$) son: el ANNO, PIB, PIB_PERCAPITA, POBLACIÓN, IPI,

EXPORTACIONES, IMPORTACIONES y por último el IPC. Por lo tanto, el modelo de pasajeros nacionales de acuerdo a los coeficientes significativos de las variables, queda:

$$\begin{aligned} \text{PASAJEROS NACIONAL} = & 5.502\text{e}+09 - 2.816\text{e}+06*\text{ANNO} + \\ & 3.531\text{e}+02*\text{PIB_COMPLETO} - 1.532\text{e}+00*\text{PIB_PERCAPITA_COMPLETO} + \\ & 2.307\text{e}+01*\text{POBLACION_COMPLETO} - 7.900\text{e}+04*\text{IPI_COMPLETO} - \\ & 1.301\text{e}+02*\text{EXPORTACIONES_COMPLETO} + \\ & 1.090\text{e}+02*\text{IMPORTACIONES_COMPLETO} - 7.557\text{e}+04*\text{IPC_COMPLETO}. \end{aligned}$$

Ecuación 5. Modelo econométrico 1.

La validación de los supuestos del modelo se cumple y se encuentran en el anexo 1. Al realizar las estimaciones, conforme al modelo, se tienen los pronósticos o escenarios hasta el año 2023 en la siguiente tabla:

Tabla 4

Resultados de Modelo econométrico 1

Pronósticos	
año	Pax. Nac
2019	22`672113
2020	23`502575
2021	24`081061
2022	24`392645
2023	24`426211

Nota: Resultados de Modelo econométrico 1, pronósticos de Pasajeros nacionales a mediano plazo. Fuente: Elaboración propia.

Figura 33. Pronóstico pasajeros nacionales (Pax.Nac) de BOG

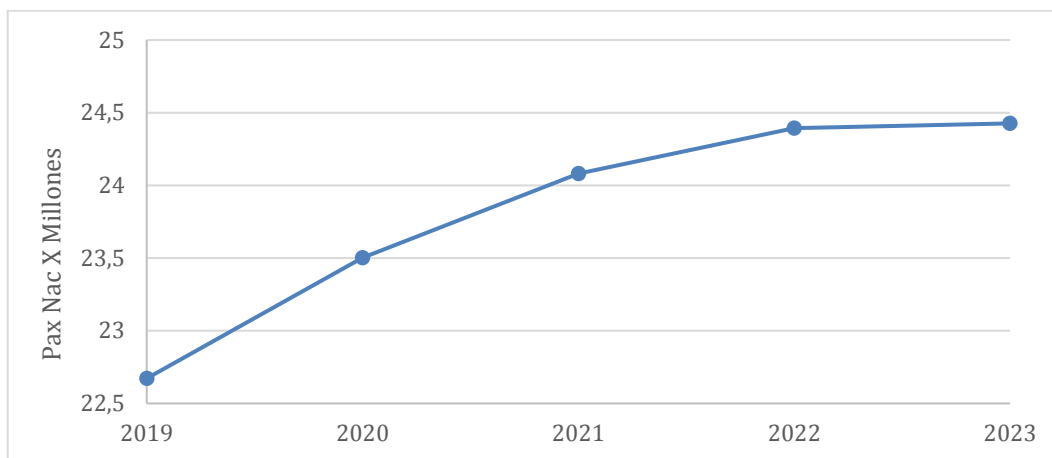


Figura 33. Resultado de pronóstico de pasajeros nacionales a mediano plazo. Fuente: Elaboración propia.

Figura 34. Data histórica Pax Nac. junto con el resultado del pronóstico.

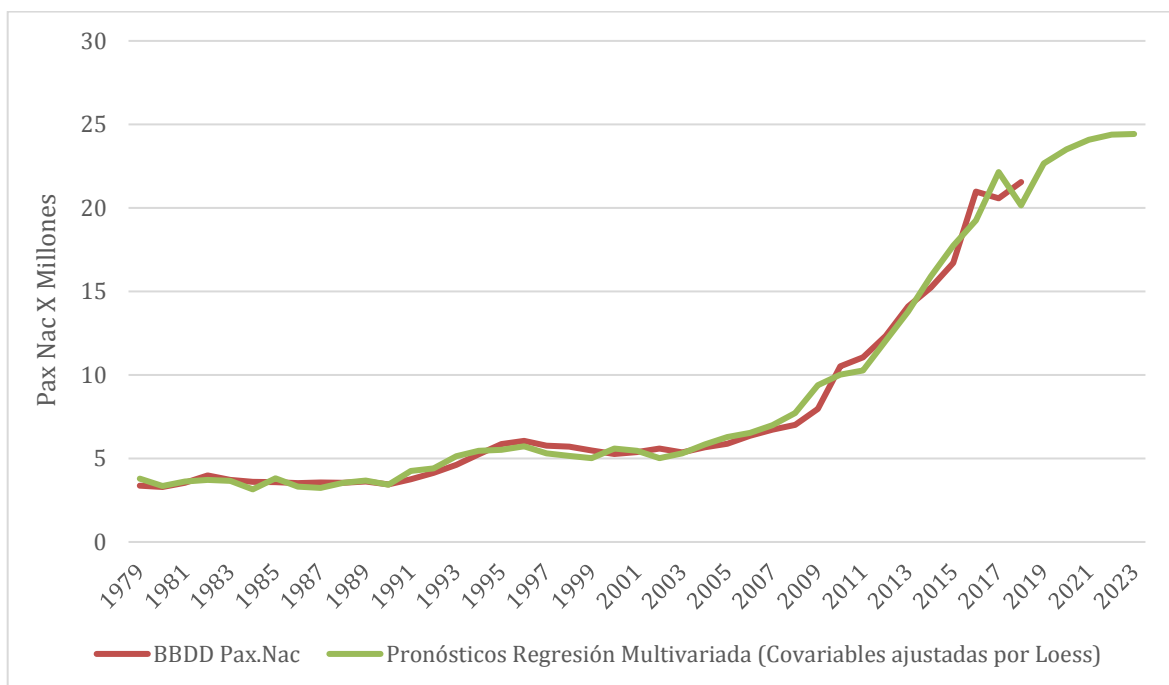


Figura 34. Información histórica BBDD (1979-2018) de Pax Nac junto con el pronóstico de investigación de pasajeros nacionales a mediano plazo (2019-2023). Fuente: Elaboración propia.

Las covariables fueron ajustadas por Loes en toda la data histórica disponible para mostrar una previsión (mediano plazo) más fiable, se utilizó una familia paramétrica al igual que en un ajuste de regresión global pero solamente se realiza el ajuste localmente. La regresión local ayuda a detectar la relación entre variables, encontrar tendencias y ciclos en los datos.

Pasajeros Internacionales

Al realizar el análisis de la ANOVA asociado al modelo econométrico de regresión lineal múltiple, con la variable respuesta pasajeros internacionales, se obtiene:

```
> summary(MODELO)
Call:
lm(formula = formula_modelo, data = df_pronosticoInterpolacion)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-638793 -167323  10006   99879 1052272

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  2.893e+09  5.228e+08   5.533 5.18e-06 ***
ANNO        -1.480e+06  2.674e+05  -5.535 5.15e-06 ***
PIB_Completo  1.407e+02  2.500e+01   5.628 3.96e-06 ***
PIB_PERCAPITA_Completo -3.526e-01  2.553e-01  -1.381  0.17754
POBLACION_Completo  1.136e+01  1.998e+00   5.683 3.39e-06 ***
IPI_Completo -2.464e+04  1.357e+04  -1.815  0.07946 .
EXPORTACIONES_Completo -3.545e+01  2.390e+01  -1.483  0.14844
IMPORTACIONES_Completo  1.236e+01  2.191e+01   0.564  0.57686
IPC_Completo -4.848e+04  1.762e+04  -2.752  0.00996 **
TRM_Completo -3.744e+02  3.678e+02  -1.018  0.31687
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 345800 on 30 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.9876, Adjusted R-squared:  0.9838
F-statistic: 264.9 on 9 and 30 DF, p-value: < 2.2e-16
```

Los resultados del ANOVA, demuestran que existe evidencia estadística, la cual señala que existe un modelo lineal significativo (más de una variable significativa) entre las variables predictoras o independientes con la variable cantidad de pasajeros internacionales $F=264.9$ y el p valor asociado ($p=2.2e-16$, $p<0.05$). Por otra parte, el R al cuadrado ajustado es muy alto (R^2

= 0.9838), lo que confirma un modelo lineal fuerte y ajustado de manera adecuada para realizar estimaciones.

En cuanto a la significancia de las variables se aprecia que las variables significativas ($p < 0.05$) son: el ANNO, PIB, POBLACIÓN, IPC. Por lo tanto, el modelo de pasajeros internacionales de acuerdo a los coeficientes significativos de las variables, queda:

$$\text{PASAJEROS INTERNACIONAL} = 2.893\text{e}+09 - 1.480\text{e}+06 \cdot \text{ANNO} + 1.407\text{e}+02 \cdot \text{PIB_COMPLETO} + 1.136\text{e}+01 \cdot \text{POBLACION_COMPLETO} - 4.848\text{e}+04 \cdot \text{IPC_COMPLETO}.$$

Ecuación 6. Modelo econométrico 2.

La validación de los supuestos del modelo se cumple y se encuentran en el anexo 2. Al realizar las estimaciones, conforme al modelo, se tienen los pronósticos o escenarios hasta el año 2023 en la siguiente tabla:

Tabla 5

Resultados de Modelo econométrico 2

Pronósticos	
año	Pax. Intl
2019	10`730467
2020	11`581123
2021	12`472654
2022	13`405355
2023	14`379486

Nota: Resultados de Modelo econométrico 2, pronósticos de Pasajeros internacionales a mediano plazo. Fuente: Elaboración propia.

Figura 35. Pronóstico pasajeros internacionales (Pax.Intl) de BOG

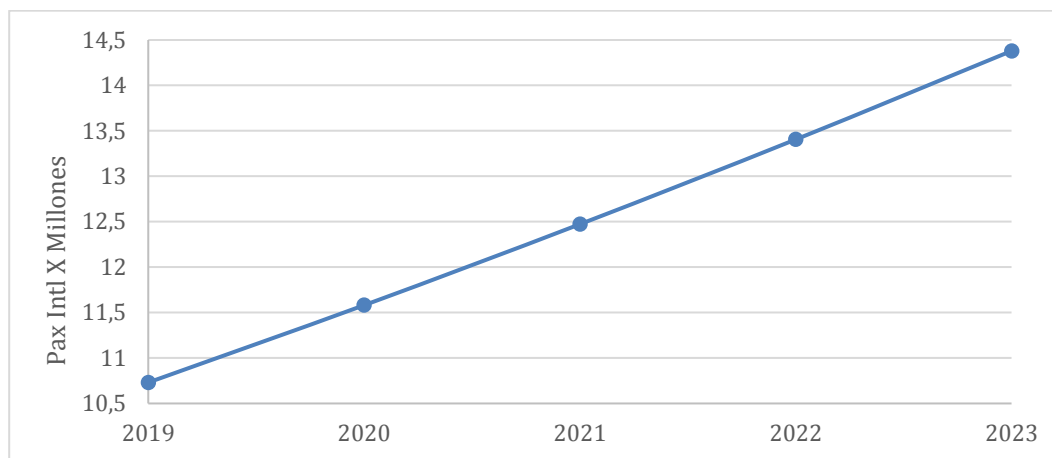


Figura 35. Pronóstico de pasajeros internacionales a mediano plazo. Fuente: Elaboración propia.

Figura 36. Data histórica Pax Intl. junto con el resultado del pronóstico

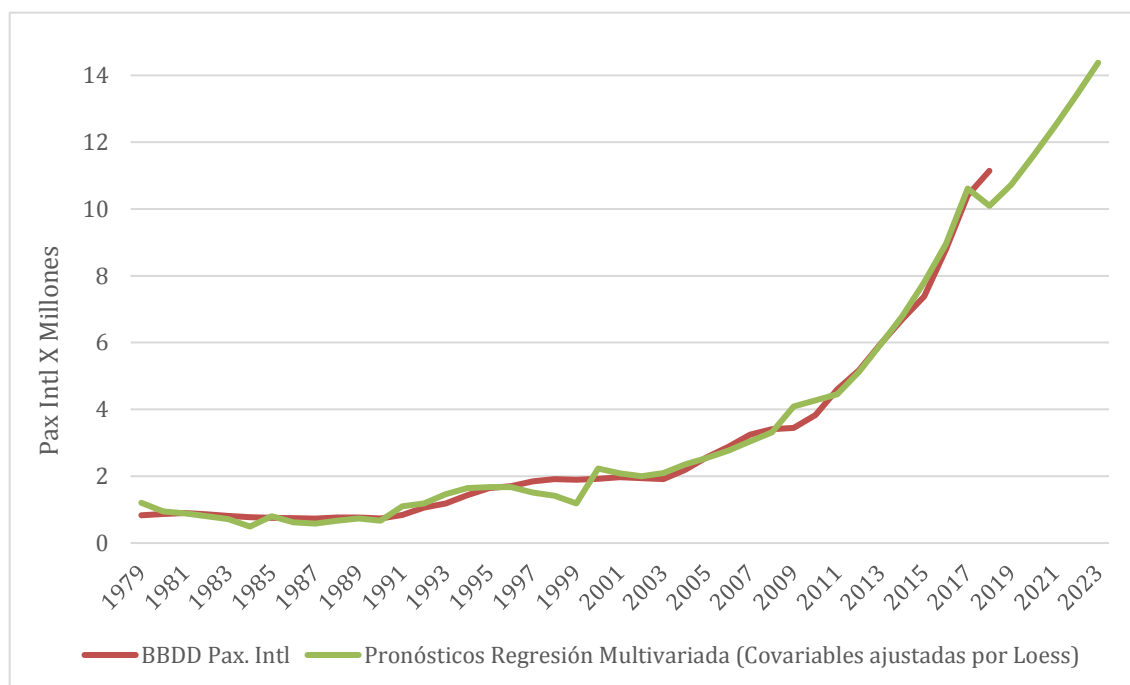


Figura 36. Información histórica BBDDs (1979-2018) de Pax Intl junto con el pronóstico de investigación de pasajeros internacionales a mediano plazo (2019-2023). Fuente: Elaboración propia.

Las covariables fueron ajustadas por Loes en toda la data histórica (BBDD) disponible para mostrar una previsión (mediano plazo) más fiable, se utilizó una familia paramétrica al igual que en un ajuste de regresión global pero solamente se realiza el ajuste localmente. La regresión local ayuda a detectar la relación entre variables, encontrar tendencias y ciclos en los datos.

Carga aérea Nacional

Al realizar el análisis de la ANOVA asociado al modelo econométrico de regresión lineal múltiple, con la variable respuesta carga nacional, se obtiene:

```
> summary(MODELO)

Call:
lm(formula = formula_modelo, data = df_pronosticoInterpolacion)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-24793  -7125   1832   8114  13746

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  2.196e+07  1.700e+07   1.292  0.20615
ANNO        -1.125e+04  8.692e+03  -1.294  0.20539
PIB_Completo  1.181e+00  8.127e-01   1.453  0.15669
PIB_PERCAPITA_Completo -7.715e-03  8.300e-03  -0.929  0.36008
POBLACION_Completo  1.034e-01  6.495e-02   1.592  0.12193
IPI_Completo  -5.552e+01  4.412e+02  -0.126  0.90071
EXPORTACIONES_Completo -2.680e+00  7.770e-01  -3.450  0.00169 **
IMPORTACIONES_Completo  2.430e+00  7.122e-01   3.413  0.00186 **
IPC_Completo  -1.616e+02  5.728e+02  -0.282  0.77977
TRM_Completo   2.028e+00  1.196e+01   0.170  0.86649
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 11240 on 30 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.8766, Adjusted R-squared:  0.8395
F-statistic: 23.67 on 9 and 30 DF, p-value: 2.788e-11
```

De acuerdo al valor del estadístico de la ANOVA, $F=23.67$ y el p valor asociado ($p=2.788e-11$, $p<0.05$). El R ajustado al cuadrado fue de $R^2=0.8395$, lo que alude a una varianza mediana relativamente explicada por parte de las variables predictores (es decir, no hay una fuerte relación lineal entre las variables dependiente e independientes). En cuanto a las

variables significativas, se aprecia que fueron significativas (al menos 2 variables significativas) ($p < 0.05$) las EXPORTACIONES e IMPORTACIONES. Por lo tanto, el modelo de carga nacional de acuerdo a los coeficientes significativos de las variables queda:

$$\text{CARGA NACIONAL} = -2.680e + 00 * \text{EXPORTACIONES_COMPLETO} + 2.430e + 00 * \text{IMPORTACIONES_COMPLETO}.$$

Ecuación 7. Modelo econométrico 3.

La validación de los supuestos del modelo se cumple y se encuentran en el anexo 3. Al realizar las estimaciones, conforme al modelo, se tienen los pronósticos o escenarios hasta el año 2023 en la siguiente tabla:

Tabla 6

Resultados de Modelo econométrico 3

Pronósticos	
año	Crg. Nac
2019	143.013,64
2020	148.025,10
2021	153.344,19
2022	158.975,86
2023	164.924,47

Nota: Resultados de Modelo econométrico 3, pronósticos de carga nacional a mediano plazo. Fuente: Elaboración propia

Figura 37. Pronóstico carga aérea nacional (Crg. Nac) de BOG

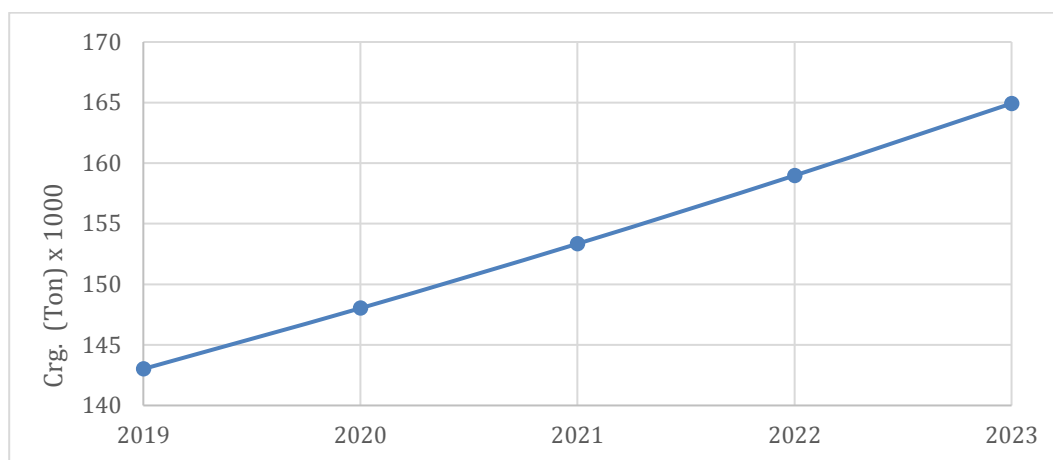


Figura 37. Pronóstico de carga nacional a mediano plazo [Gráfico]. Fuente: Elaboración propia

Figura 38. Data histórica Crg Nac. junto con el resultado del pronóstico

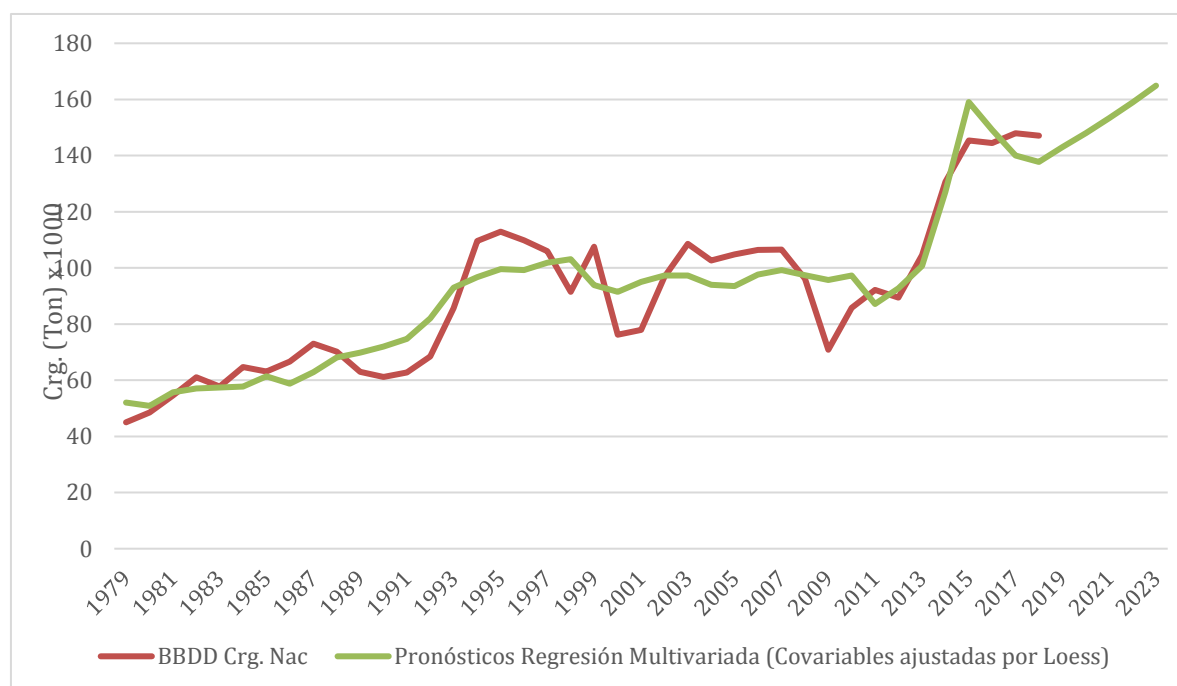


Figura 38. Información histórica BBDDs (1979-2018) de Crg. Nac junto con el pronóstico de investigación de carga internacional a mediano plazo (2019-2023) [Gráfico]. Fuente: Elaboración propia.

Las covariables fueron ajustadas por Loes en toda la data histórica (BBDD) disponible para mostrar una previsión (mediano plazo) más fiable, se utilizó una familia paramétrica al igual que en un ajuste de regresión global pero solamente se realiza el ajuste localmente. La regresión local ayuda a detectar la relación entre variables, encontrar tendencias y ciclos en los datos.

Carga aérea Internacional

Al realizar el análisis de la ANOVA asociado al modelo econométrico de regresión lineal múltiple, con la variable respuesta carga nacional, se obtiene:

```
> summary(MODELO)

Call:
lm(formula = formula_modelo, data = df_pronosticoInterpolacion)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-79033  -9343    651   16736   57921

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  6.708e+07  4.695e+07   1.429   0.163
ANNO         -3.441e+04  2.401e+04  -1.433   0.162
PIB_Completo -2.891e+00  2.245e+00  -1.288   0.208
PIB_PERCAPITA_Completo 3.452e-02  2.293e-02   1.505   0.143
POBLACION_Completo  2.280e-01  1.883e-01   1.211   0.023 **
IPI_Completo   5.862e+02  1.219e+03   0.481   0.634
EXPORTACIONES_Completo -1.721e+00  2.139e+00  -0.805   0.042 *
IMPORTACIONES_Completo  1.641e+00  1.968e+00   0.834   0.411
IPC_Completo  -1.179e+02  1.582e+03  -0.074   0.941
TRM_Completo  -3.102e+01  3.303e+01  -0.939   0.355
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 31060 on 30 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.9624, Adjusted R-squared:  0.9511
F-statistic: 85.34 on 9 and 30 DF, p-value: < 2.2e-16
```

Existe un modelo lineal significativo ($F=85.34$ $p<0.05$). El R ajustado al cuadrado fue de $R^2 = 0.9511$, lo que confirma un modelo lineal fuerte y ajustado de manera adecuada para realizar estimaciones. En cuanto a las variables significativas, se aprecia que fueron ($p<0.05$)

las EXPORTACIONES y la POBLACIÓN. Por lo tanto, el modelo de carga internacional de acuerdo a los coeficientes significativos de las variables, queda:

$$\text{CARGA INTERNACIONAL} = 2.280\text{e-}01 * \text{POBLACION_COMPLETO} - 1.721\text{e+}00 * \text{EXPORTACIONES_COMPLETO}.$$

Ecuación 8. Modelo econométrico 4.

La validación de los supuestos del modelo se cumple y se encuentran en el anexo 4. Al realizar las estimaciones, conforme al modelo, se tienen los pronósticos o escenarios hasta el año 2023 en la siguiente tabla:

Tabla 7

Resultados de Modelo econométrico 4

Pronósticos	
año	Crg. Intl
2019	543.611
2020	561.295
2021	580.648
2022	601.728
2023	624.578

Nota: Resultados de Modelo econométrico 4, pronósticos de carga internacional a mediano plazo. Fuente: Elaboración propia.

Figura 39. Pronóstico carga aérea internacional (Crg. Intl) de BOG

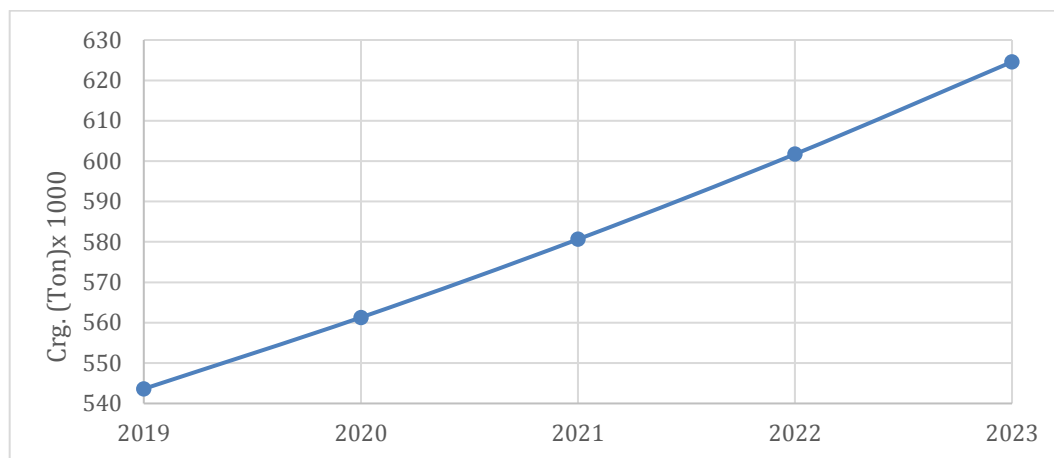


Figura 39. Pronóstico de carga aérea internacional a mediano plazo. Fuente: Elaboración propia.

Figura 40. Data histórica Crg Intl. junto con el resultado del pronóstico

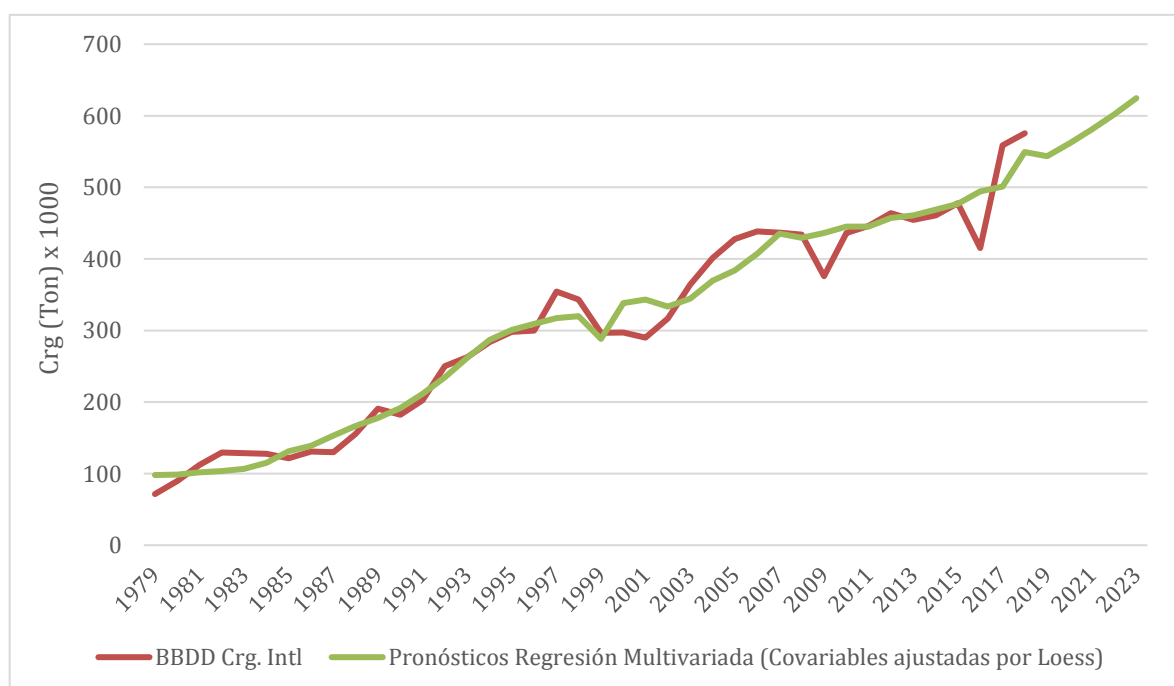


Figura 40. Información histórica BBDDs (1979-2018) de Crg. Intl junto con el pronóstico de investigación de carga aérea internacional a mediano plazo (2019-2023). Fuente: Elaboración propia.

Las covariables fueron ajustadas por Loes en toda la data histórica (BBDD) disponible para mostrar una previsión (mediano plazo) más fiable, se utilizó una familia paramétrica al igual que en un ajuste de regresión global pero solamente se realiza el ajuste localmente. La regresión local ayuda a detectar la relación entre variables, encontrar tendencias y ciclos en los datos.

Operaciones Aéreas totales

Al realizar el análisis de la ANOVA asociado al modelo econométrico de regresión lineal múltiple, con la variable respuesta carga aérea nacional, se obtiene:

```
> summary(MODELO)

Call:
lm(formula = formula_modelo, data = df_pronosticoInterpolacion)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-22039.2  -5264.0   893.6   3874.6  25130.4

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  6.804e+07  1.677e+07   4.057 0.000327 ***
ANNO        -3.482e+04  8.577e+03  -4.059 0.000324 ***
PIB_Completo  2.201e+00  8.020e-01   2.744 0.010149 *
PIB_PERCAPITA_Completo -1.239e-02  8.191e-03  -1.513 0.140669
POBLACION_Completo  2.979e-01  6.410e-02   4.647 6.29e-05 ***
IPI_Completo  -9.575e+02  4.354e+02  -2.199 0.035728 *
EXPORTACIONES_Completo -1.559e+00  7.668e-01  -2.034 0.050919 .
IMPORTACIONES_Completo  3.528e+00  7.028e-01   5.020 2.20e-05 ***
IPC_Completo  4.835e+02  5.652e+02   0.855 0.399101
TRM_Completo  -1.919e+01  1.180e+01  -1.626 0.114367
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 11090 on 30 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.9852, Adjusted R-squared:  0.9807
F-statistic: 221.6 on 9 and 30 DF, p-value: < 2.2e-16
```

Los resultados del ANOVA demuestran que existe evidencia estadística, LA CUAL señala que existe un modelo lineal significativo entre las variables predictores o independientes con la variable respuesta cantidad de pasajeros internacionales $F=221.6$ y el p valor asociado ($p=2.2e-16$, $p<0.05$). Por otra parte, el R al cuadrado ajustado es muy alto (R^2

= 0.9807), lo que confirma un modelo lineal muy fuerte y ajustado de manera adecuada para realizar estimaciones. En cuanto a la significancia de las variables se aprecia que las variables significativas ($p < 0.05$) son: ANNO, PIB, POBLACION, IPI, IMPORTACIONES. Por lo tanto, el modelo de operaciones totales (nacionales más internacionales) de acuerdo a los coeficientes significativos de las variables, queda:

$$\text{OPERACIONES} = 6.804e+07 - 3.482e+04 \cdot \text{ANNO} + 2.201e+00 \cdot \text{PIB_COMPLETO} - 1.239e-02 \cdot \text{PIB_PERCAPITA_COMPLETO} + 2.979e-01 \cdot \text{POBLACIÓN_COMPLETO} - 9.575e+02 \cdot \text{IPI_COMPLETO} + 3.528e+00 \cdot \text{IMPORACIONES_COMPLETO}.$$

Ecuación 9. Modelo econométrico 5.

La validación de los supuestos del modelo se cumple y se encuentran en el anexo 5. Al realizar las estimaciones, conforme al modelo, se tienen los pronósticos o escenarios hasta el año 2023 en la siguiente tabla:

Tabla 8

Resultados de Modelo econométrico 5

Pronósticos	
año	O.A
2019	328.347
2020	329.495
2021	332.536
2022	337.457
2023	344.238

Nota: Resultados de Modelo econométrico 5, pronósticos de operaciones aéreas totales a mediano plazo. Fuente: Elaboración propia

Figura 41. Pronóstico operaciones aéreas totales (O.A) de BOG

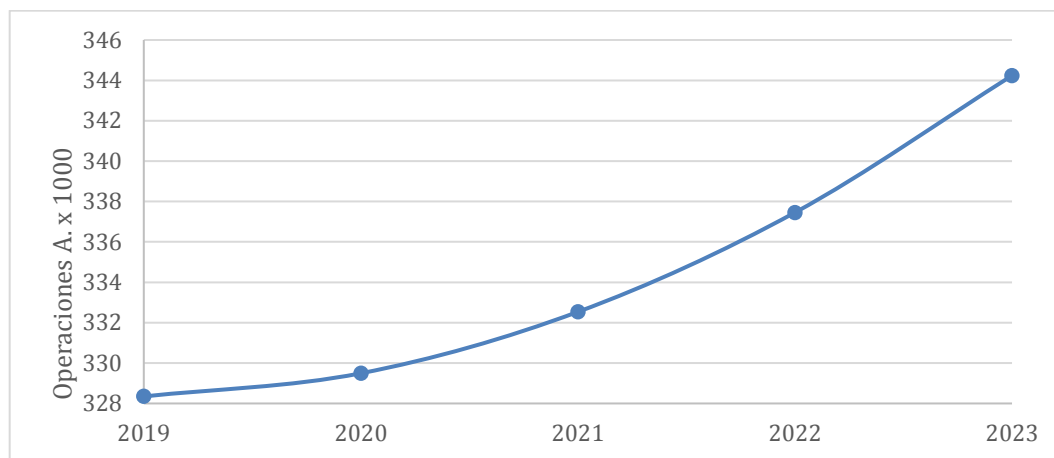


Figura 41. Pronóstico de operaciones aéreas a mediano plazo [Gráfico]. Fuente: Elaboración propia.

Figura 42. Data histórica O.A. junto con el resultado del pronóstico

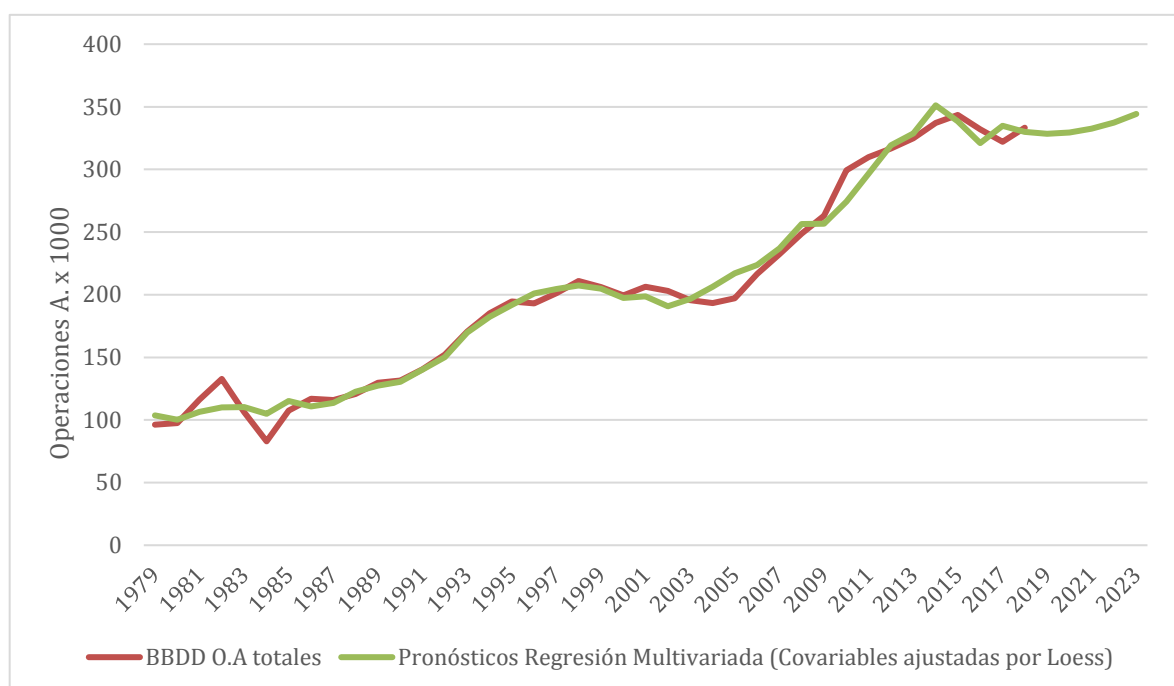


Figura 42. Información histórica BBDDs (1979-2018) de O.A totales junto con el pronóstico de investigación de operaciones aéreas totales a mediano plazo (2019-2023). Fuente: Elaboración propia.

Las covariables fueron ajustadas por Loes en toda la data histórica (BBDD) disponible para mostrar una previsión (mediano plazo) más fiable, se utilizó una familia paramétrica al igual que en un ajuste de regresión global pero solamente se realiza el ajuste localmente. La regresión local ayuda a detectar la relación entre variables, encontrar tendencias y ciclos en los datos.

Los resultados de los modelos econométricos demostrados anteriormente, cumplen con los supuestos del modelo clásico del manual de previsión de tráfico aéreo (ACI, 2016). A cada una de las variables para el pronóstico de la demanda del transporte aéreo de BOG a mediano plazo se les hicieron pruebas de normalidad, multicolinealidad, autocorrelación y homocedasticidad. A partir de ellos, se hicieron pronósticos para las variables de interés: carga, pasajeros (nacional e internacional) y total de operaciones aéreas.

Comparativa de pronósticos

A continuación, se compara los resultados del pronóstico a mediano plazo de la presente investigación con un artículo oficial presentado en el XIII congreso Colombiano de transporte y trasmito, titulado como Prognosis del tráfico aéreo (2018-2022), mediante DLM (Dynamic Linear Models) como aplicación al caso del Aeropuerto de Bogotá-El Dorado.

Los Dynamic Models (DMs) tienen la ventaja de tener una “dinámica” en los parámetros del modelo, haciendo que los parámetros no sean fijos, sino que cambien o dependan del tiempo. Tienen como principal aplicación el análisis de series temporales, además su ventaja radica en la utilidad a la hora de realizar análisis secuenciales, ya que la actualización de los parámetros se hace en base a datos que han sido obtenidos secuencialmente. (Rodriguez, Y.; Pineda, W., Díaz Olariaga, O, 2019)

La metodología del artículo desarrolló un pronóstico del transporte aéreo de BOG con Dynamic Linear Models (DLM), los cuales son utilizados en la modelización de series temporales que con respecto a las metodologías habituales de cálculo de pronósticos. De lo anterior, se presenta las siguientes ventajas: “Detecta **tendencias estocásticas**⁵ que se encuentran ocultas en las series de tiempo (West & Harrison, 2006) así como la detección de cambios estructurales que permiten estimar el efecto variable en el tiempo de **choques exógenos**⁶ sin aumentar el número de parámetros (Honjo et al., 2018). Adicionalmente, la estructura de independencia condicional sobre la que se basa la dinámica del estado permite considerar predicciones considerando un algoritmo recursivo (Petrís et al., 2009)”. (Rodríguez. Y.; Pineda, W., Díaz Olariaga, O, 2019). El resultado de la aplicación de los DLMs, presenta valores de **MAPE**⁷ por debajo del 1%, lo cual garantiza pronósticos de alta predictibilidad.

En la tabla 9, se presentan los resultados obtenidos en los pronósticos a mediano plazo de la presente investigación, junto con las proyecciones hechas en el artículo presentado con los Dynamic Linear Models (DLM). Por último, se presenta una comparación con una diferencia porcentual con los dos resultados de las proyecciones o pronósticos en cada una de las variables resultantes definidas (Pasajeros nacionales/internacionales, carga aérea nacional/internacional y operaciones totales). Se debe resaltar que el pronóstico del año 2023 de la presente investigación, no se incluye debido al artículo (DLM) con el que se compara y no fue presentado este resultado.

⁵ La tendencia estocástica es un cambio aleatorio de una serie a lo largo del tiempo, pudiendo presentar largos periodos crecientes, seguidos de periodos decrecientes. La tendencia estocástica es un proceso estacionario en media, pero no lo es en varianza.

⁶ El Fondo Monetario Internacional (FMI) define un choque exógeno como “un evento que tiene un impacto negativo significativo sobre la economía y que está más allá del control del gobierno”.

⁷ Mean Absolute Percentage Error, el cual mide el tamaño del error (absoluto) en términos porcentuales

Tabla 9**Comparación de resultados (dif. %)**

Pax Nac.			
año	INVESTIGACIÒN	DLM	dif (%)
2019	22672113	22366194	1,37%
2020	23502575	23004324	2,17%
2021	24081061	23795926	1,20%
2022	24392645	24671975	1,13%
Pax Intl.			
año	INVESTIGACIÒN	DLM	dif (%)
2019	10730467	11124912	3,55%
2020	11581123	11833511	2,13%
2021	12472654	12273259	1,62%
2022	13405355	12833503	4,46%
Crg. Nac			
año	INVESTIGACIÒN	DLM	dif (%)
2019	143014	146123	2,13%
2020	148025	153899	3,82%
2021	153344	155675	1,50%
2022	158976	157771	0,76%
Crg. Intl			
año	INVESTIGACIÒN	DLM	dif (%)

2019	543611	569310	4,51%
2020	561295	571037	1,71%
2021	580648	571334	1,63%
2022	601728	572134	5,17%

O.A			
año	INVESTIGACIÒN	DLM	dif (%)
2019	328347	342189	4,05%
2020	329495	351073	6,15%
2021	332536	358231	7,17%
2022	339457	368144	7,34%

Nota: Comparación de resultados (dif. %) de los dos pronostico a mediano plazo (2019-2022). Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

- En el presente proyecto de grado, se realizó una serie de modelos econométricos, para prever el pronóstico de la demanda del transporte aéreo a mediano plazo (4 años), de un aeropuerto distribuidor cómo lo es el Aeropuerto Internacional El Dorado “El Hub de la región Andina” (BOG). El modelo desarrollado, requirió variables aeronáuticas (pasajeros, carga aérea, y total de operaciones aéreas) y covariables socio-económicas de la ciudad de Bogotá (PIB, PIB per cápita, Población) y de Colombia (IPI, Total Exportaciones, Total Importaciones, IPC, TRM).
- El análisis econométrico (catalogado en el ACI como una metodología práctica para hacer pronósticos de la demanda del transporte aéreo) y que por medio de la regresión lineal múltiple es de bastante fianza, ya que genera ajustes con las variables dependientes he independientes del caso de estudio. En los pronósticos de los indicadores socioeconómicos (Variables independientes) se llevó a cabo un suavizamiento y una extrapolación hasta el año 2023 de las diferentes covariables con la técnica de regresión local polinomial (Loess), esta técnica permitió que se utilizara una familia paramétrica al igual que en un ajuste de regresión global pero solamente se realiza el ajuste localmente. Además, Según el tamaño de la ventana (width⁸), tendremos mayor o menor suavizado en el ajuste (span). En los modelos era notable que con el modelamiento loess para las covariables se podía justificar el buen desarrollo de la investigación del proyecto.

⁸El tamaño de la ventana representa la proporción de observaciones que se utilizarán en la regresión local. La selección del parámetro de suavizado puede ser automática. Según el tamaño de la ventana (width) tendremos mayor o menor suavizado en el ajuste, generalmente se calcula según el porcentaje de datos que cae dentro de la ventana (span=0.5 significa que la ventana se selecciona de tal manera de que el 50% de los datos caigan dentro de cada ventana, con el x0 como centro)

- Como resultados de los pronósticos de BOG, que fueron realizados gracias al Software RStudio, se indicó que, para pasajeros nacionales (Pax.Nac) el R^2 es de 0,9809 (span:0.3) y para pasajeros internacionales (Pax.Intl) de R^2 0,9838 (span: 1.0). El análisis anterior, confirma un modelo de regresión lineal múltiple muy fuerte y ajustado con correlación entre las variables dependiente (aeronáuticas) e independientes (socio-económicas) para realizar estimaciones. En el caso de los pronósticos de carga aérea nacional (Crg.Nac), el R^2 es 0,8395 (span: 0.4). Esta proyección, fue aceptada ya que está cercano de 0.90 y se consideró estable para realizar el modelo regresión lineal múltiple. Otro de los ítems analizados, fue el R^2 del modelo correspondiente a carga aérea internacional (Crg.Intl), dando como resultado 0.9511 (span: 0.4) y su análisis de regresión fue aceptado con una correlación significativa entre las variables. Por último, el pronóstico de la variable respuesta operaciones totales aérea (O.A), obtuvo un R^2 de 0,9807 (span: 0.2) y resultó un buen comportamiento, considerando que fueron pocas las variables significativas en el modelo econométrico.
- Los resultados o previsiones, pronostican un cambio anual medio positivo, sostenido a mediano plazo (2019-2023), para los pasajeros de BOG (Pax.Nac 4%, Pax Intl 3%), el cual mantiene la dinámica de periodos anteriores. Se debe destacar que el crecimiento medio anual se prevé muy cercano de valores (medio anuales), pronosticados para pasajeros (RPK), tanto a nivel global (3,6% según IATA (2017), 4,9% según ACI (2016) y 4,6 según ICAO (2017)), como a nivel regional (L&C) (4,2% según IATA (2017) y 4,6% según ACI (2016)). Afirmando la idea propuesta, de acuerdo con la publicación World Air Traffic Forecast 2018, del Airports Council International ACI

(2018), afirma que: “Colombia ocupa el puesto octavo dentro de los diez mercados del mundo con mayor crecimiento en el tráfico de pasajeros, con una tasa promedio proyectada del 5,4 % anual”. Con relación para el pronóstico de cambio anual medio de Carga aérea (Crg Nac 4%, Crg Intl 3%), se pudo observar que también ha tenido un crecimiento gradual y sostenido, ya que dio buenas correlaciones con las establecidas, por criterios y gremios de la industria del transporte de carga aérea (FTK), a nivel mundial (FedEx, UPS, DHL, Boeing Comercial Airplanes), quienes establecen un crecimiento del 4,5% y se mantendrá esta tendencia con una leve reducción en el futuro, así como también lo afirma la IATA (2019) “ El comercio mundial continúa deteriorándose en medio de un escenario donde las tensiones comerciales, particularmente entre Estados Unidos y China, se agravan e impiden el crecimiento de los mercados de carga aérea”. Por último, el cambio anual medio a mediano plazo de operaciones aéreas (O.A 2,5%), se mantiene en crecimiento, por ende, es el aeropuerto principal y el centro de actividad comercial del país. BOG moviliza la mayoría de los pasajeros nacionales e internacionales, la mayor cantidad de carga aérea y tiene el mayor número de operaciones en el país.

- La comparativa de los resultados obtenidos del presente proyecto con los pronósticos realizados del artículo presentado en el XII congreso Colombiano de transporte y tránsito, con los Dynamic Linear Models (DLM), de los autores Rodríguez Yesid, Pineda Wilmer y Díaz Olariaga Oscar (2019). Los anteriores, presentaron como metodología, para las variables independientes (socioeconómicas), se usó un modelo ARIMA, con el fin de realizar sus pronósticos a futuro y dichos valores ser incluidos en el modelo seleccionado. El resultado de la aplicación de los DLMs, presentó valores de MAPE por debajo del 1%, lo cual, garantiza pronósticos de alta predictibilidad. Así

que, estos resultados no se apartan de un margen de error aceptable respecto a los resultados obtenidos del presente proyecto. Diciendo esto, se puede afirmar que el trabajo presentado obtuvo resultados coherentes y aptos para prever la demanda del transporte aéreo a mediano plazo de BOG (4 años).

Recomendaciones

Como se analizó en este proyecto, obteniendo los resultados que afirman la idea de que los pronósticos pierden total fiabilidad más allá del mediano plazo (5-7 años). Además, sólo es posible conseguir un pronóstico fiable siempre y cuando se cuente con un excelente tamaño de las series históricas (25-30 años o superior), con las variables aeronáuticas como de (todas las posibles) covariables socio-económicas.

Es de vital importancia que en un aeropuerto distribuidor como lo es BOG, se deban realizar estos pronósticos sin sobrepasar el mediano plazo, ya que, con periodos a largo plazo, estos pronósticos pierden fiabilidad. Aún con más relevancia, este aeropuerto distribuidor está en constante crecimiento y es indispensable para la economía de su país y de los que conecta a nivel internacional, por ende, sus pronósticos deben ser como mínimo a corto y como máximo mediano plazo para su mejor control con el tráfico aéreo que prevé. Esta situación dio curso a la aprobación de la construcción de un nuevo aeropuerto a las afueras de la ciudad de Bogotá y se estima que para el 2026 entrara en operación.

Se reconoce que los pronósticos de los planes maestros se desarrollan (ya que así lo exige habitualmente el contrato de la consultoría) a largo plazo (30 años), por ello se recomienda realizar una actualización del plan maestro del aeropuerto cada 4 o 5 años, y más aún aquí en Colombia, donde el crecimiento anual del transporte aéreo es muy

alto (uno de los más alto de la región latinoamericana, y también a nivel mundial), vinculado también al dinámico crecimiento económico que experimenta el país desde hace casi dos décadas. (Díaz. O, 2017)

Bibliografía

Aerocivil (2016c). Reglamentos Aeronáuticos de Colombia. Recuperado:

CCC V <http://goo.gl/QonlVT>.

Aeronáutica Civil de Colombia. (2014). Actualización del plan maestro del aeropuerto internacional elDorado reporte final. Tarea 04- Pronósticos de la demanda. CO: Editorial Tylininternational.

Aeronáutica Civil de Colombia. (2017). La Aviación en Cifras.Ed. 2017 Recuperado de:

<http://www.aerocivil.gov.co/Potada/revi.pdf>.

Aeronáutica Civil de Colombia. (2018).Reglamentos aeronáuticos de Colombia RAC 1. Oficina de transporte aéreo. Cuestiones Preliminares, disposiciones Iniciales, definiciones y abreviaturas. CO: Editorial Tylininternational.

Airports Council International (2016). Guía De ACI Para El Pronóstico Del Tráfico Del Aeropuerto Mundial [Traducido al español ACI Guide To Wolrd Airport Traffic Forecast]. EEUU: ACI.

ATAG. [Air Transport Action Group] (2014) Aviation: Benefits beyond Borders, Geneva, global Capacity Report. Capacity, Frequency and ASK Analysis. SUI: Editorial RDC.

ATAG. [Air Transport Action Group] (2017). Aviación, beneficios más allá de fronteras. SUI: Editorial RDC.

Banco de la Republica de Colombia. (2019). Tasa Representativa del Mercado (TRM - Peso por dólar). Recuperado de: <https://www.banrep.gov.co/es/estadisticas/trm>

Banco Interamericano de Desarrollo. (2015). Análisis y Diagnóstico del Marco Institucional y Regulatorio del Sector Aero comercial en Colombia y sus Políticas Nacionales Referentes a la Prestación de Servicios a Comunidades Aisladas. CO.

Berrendero, J. (2019). Regresión lineal simple “Lm” con R. R Pubs by RStudio. Recuperado de <https://rpubs.com/joser/RegresionSimple>

Berrendero, J. (2019). Regresión local “Loess” con R. R Pubs by RStudio. Recuperado de <https://rpubs.com/joser/RegresionLocal>.

Budd, L., & Ison, S. (2017). Gestión del Transporte Aéreo [Traducido al español de Air Transport Management]. UK: Editorial Acknowledgements.

Cleveland, W.S. (1979). Robusta de regresión ponderada localmente y diagramas de dispersión de suavizado [Traducido al español de «Robust Locally Weighted Regression and Smoothing Scatterplots»]. ol Journal of the American Statistical Association 74 (368): 829-836.

DANE. (2009). Metodología Censo General 2005. Obtenido de CCCV <http://goo.gl/lp9zNt>.

DANE. (2018a). Estadísticas por tema. Recuperado de: <http://goo.gl/j7Wqbz>.

DANE. (2018b). Índice de Precios al Consumidor - IPC. Recuperado de: CCCV <http://goo.gl/Xnbzir>.

Delgado, P. (30 de mayo de 2018). ¿Podrá Colombia triplicar su tráfico aéreo a 2030? El Espectador. Recuperado de: <https://www.elespectador.com/economia/podra-colombia-triplicar-su-trafico-aereo-2030-articulo-791706>.

Delgado, R. (2019). Introducción a los Modelos de Regresión en R. Ciencia&Datos. Recuperado de <https://medium.com/datos-y-ciencia/introducci%C3%B3n-a-los-modelos-de-regresi%C3%B3n-en-r-6ef5a4c47a8f>.

Diana, M. Kelmansky. (2006). Modelos de regresión- suavizados. Análisis Exploratorio y Confirmatorio de Datos de Experimentos de Microarrays. Dpto. de Matemática. Recuperado de: http://www.dm.uba.ar/materias/analisis_expl_y_conf_de_datos_de_exp_de_marrays_Mae/2006/1/teoricas/Teor8.pdf.

Díaz Olariaga, O. (2016a). Análisis del desarrollo reciente del transporte aéreo en Colombia. Revista Transporte y Territorio, 14, 122-143.

Díaz Olariaga, O. (2017). Políticas de privatización de aeropuertos. El caso de Colombia.

Díaz Olariaga, O. (2017). Prognosis de tráfico aéreo. El caso del Aeropuerto Intl. De Bogotá (Colombia), 14, 122-143.

Díaz Olariaga, O. (2018). Prognosis De Tráfico Aéreo En Contexto De Postliberalización. Documentos y Aportes en Administración Pública y Gestión Estatal, 29, 7-35.

Eldorado.aereo. (2019). Terminales. Recuperado de: <https://eldorado.aero/aeropuerto/terminales/>.

Estadísticas de Oferta y Demanda - Transporte de Pasajeros - Diciembre 2018.xls». www.aerocivil.gov.co. Consultado el 14 de septiembre de 2019.

- Gómez, C. (2008). El aeropuerto El Dorado como centro de logística y distribución hacia el mejoramiento de la competitividad regional y nacional. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas. Universidad Javeriana. Bogotá.
- IATA (2004). Airport Development reference manual. 9th Ed. CA: Ed. Association International Air Transport-IATA.
- ICAO. (2006). *Manual on Air Traffic Forecasting. Doc 8991*. 3ra edición. Montréal: Ed. International Civil Aviation Organization-ICAO.
- Investigación Del Sistema De Transporte (NextGen). [Traducido al español de The Next Generation Air Transport System (NextGen)].EEUU. Recuperado de <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20100025034.pdf>.
- Kangis, P., & O'Reilly, D. (2003). Estrategias En Un Mercado Dinámico: Un Estudio De Caso En La Aerolínea Industria. [Traducido al español de Strategies in a Dynamic Marketplace: A Case Study in the Airline Industry. Journal of Business Research].IRL: Editorial University of Surrey.
- Martinez, A., & Garcia, H. (2016). Competitividad en el transporte aéreo en Colombia Informe final de Fedesarrollo a Fontur. CO: Editorial MinCIT.
- Ministerio de Hacienda y crédito público Gobierno de Colombia. (2019). Marco fiscal de mediano plazo 2019. Recuperado de: https://www.minhacienda.gov.co/webcenter/ShowProperty?nodeId=%2FConexionContent%2FWCC_CLUSTER-111638%2F%2FidcPrimaryFile&revision=latestreleased.

- Mitchel, W.C. (1923). Ciclos de Negocio y Desempleo [Traducido al español de Business Cycles and Unemployment. EEUU: National Bureau of Economic Research.
- NASA. (2019). Descripción General Del Aire De Próxima Generación De La NASA.
- OACI. (2016) Organización de la aviación civil internacional. Plan mundial de navegación aérea 2016–2030. 5ed. CA: Editorial GANP.
- P.A. Samuelson, T.C. Koopmans & J.R.N. Stone, “Report of the Evaluative Committee for Econometrica”, *Econometrica*, vol. 22, núm. 2, abril de 1954, pp. 141-146.
- PM. (2015), Análisis técnico de la viabilidad operacional y elaboración del Plan Maestro aeroportuario para el proyecto de infraestructura ElDorado II. Bogotá.
- PMA (2014), Actualización Del Plan Maestro Del Aeropuerto Internacional El Dorado. Sección 2: Pronósticos de la Demanda. (2014). Bogotá.
- Porter, M. E. (1996). ¿Qué es la estrategia? [Traducido al español de What is strategy? Harvard Business Review 74(6) 61–78.]. EEUU. Recuperado de https://iqfystage.blob.core.windows.net/files/CUE8taE5QUKZf8ujfYlS_Reading+1.4.pdf.
- Ramírez, C. (2018). Calculo De Capacidad De Pista Del Aeropuerto Internacional ElDorado. (Trabajo de Grado). Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia.
- Ramos Quintín, I.F. & Cárdenas Jiménez, L.E. (2016). Prognosis De Tráfico En El Aeropuerto De Bogotá-El Dorado Y Análisis De La Relación Demanda - Capacidad (Trabajo de Grado). Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia.

- Rodriguez, J. (2013). Como utilizar R para hacer regresiones lineales, bonitos gráficos y regresiones multivariantes y logarítmicas. Recuperado de <http://www.joserodriguez.info/como-utilizar-r-para-hacer-regresiones-lineales-bonitos-graficos-y-regresiones-multivariantes-y-logaritmicas/>.
- Rodriguez, Y.; Pineda, W., Díaz Olariaga, O. (2019). Prognosis de tráfico aéreo mediante DLM (Dynamic Linear Models). Aplicación al caso del Aeropuerto de Bogotá-El Dorado. XIII Congreso Colombiano de Transporte y Tránsito, 26-28 Junio 2019, Cartagena de Indias (Colombia).
- Schmitt, D., & Gollnick, V. (2016). Sistema de Transporte Aéreo [Traducido al español de Air Transport System]. DE: Editorial Springer.
- Secretaria Distrital de Planeación (SDP). Aeropuerto ElDorado –Retos y Oportunidades- . Recuperado de: http://www.sdp.gov.co/sites/default/files/aeropuerto_el_dorado_22-10-18.pdf.
- SIC. (2013) Superintendencia de Industria y Comercio de Colombia - .CCCVEstudios de Mercado, Aeropuertos de Colombia (2010-2012). Bogotá: CCCVSIC.
- Stoll, U. B. (2004). Gestión estratégica en el transporte aéreo global. [Traducido al español de Strategic management in global air transport. Dissertation]. DE: Editorial University of St.Gallen Difo-Druck.
- UAEAC. (2018) Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil. Estadísticas de Oferta y Demanda - Transporte de Pasajeros totales domésticos e internacionales. Recuperado de <http://www.aerocivil.gov.co/autoridad-de-la-aviacion-civil/biblioteca-tecnica>.

UAEAC. (2018) Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil. Estadísticas de Oferta y Demanda - Transporte de carga domésticos e internacionales. Recuperado de <http://www.aerocivil.gov.co/autoridad-de-la-aviacion-civil/biblioteca-tecnica>.

UAEAC. (2018) Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil. Estadísticas de Oferta y Demanda – Tráfico aéreo total domésticos e internacionales. Recuperado de <http://www.aerocivil.gov.co/autoridad-de-la-aviacion-civil/biblioteca-tecnica>.

Valencia, M., Ramírez, A. & Tabares, J. (2014). Métodos de pronósticos clásicos y bayesianos con aplicaciones. Recuperado de: <http://bdigital.unal.edu.co/12560/1/MarisolValenciaCardenas.2014.pdf>.

Venables B., Smith D. (2000). Notas sobre R: Un entorno de programación para Análisis de Datos y Gráficos. Recuperado de: <https://cran.r-project.org/doc/contrib/R-intro-1.1.0-espanol.1.pdf>.

Villareal, F. (2016). Introducción a los Modelos de Pronósticos. Recuperado de: http://www.matematica.uns.edu.ar/uma2016/material/Introduccion_a_los_Modelos_de_Pronosticos.pdf.

Wojahn, O. W. (2008). Redes De Aerolíneas. [Traducido al español de Airline networks (1st Ed.)]. DE: Editorial Europaischer Verlag der Wissenschaften.

Y. H. Yang, S. Dudoit, P. Luu and T. P. Speed. Normalization for cDNA Microarray Data. SPIE BIOS 2001, San Jose, California, January 2001.

Anexos

Hoja de ejecución estadística: Documento de texto Scripts en el software R para el modelamiento de los pronósticos a mediano plazo de BOG:

```
library(readxl)
library(writexl)
setwd("C:/Users/Juan Diego/Desktop/SCRIPT R")
ANNOS_futuro <- c(2019,2020,2021,2022,2023)
ANNOS <- c(PASANAC$ANNO, ANNOS_futuro)

##### Pasajeros Nacional #####
PASANAC <- read_xlsx("PASANAC.xlsx")
names(PASANAC)[1] <- "ANNO"

##### Pasajeros Internacional #####
PASAINAL <- read_xlsx("PASAINAL.xlsx")
names(PASAINAL)[1] <- "ANNO"

##### Carga Nacional #####
CARGANAC <- read_xlsx("CARGANAC.xlsx")
names(CARGANAC)[1] <- "ANNO"

##### Carga Internacional #####
CARGAINAL <- read_xlsx("CARGAINAL.xlsx")
names(CARGAINAL)[1] <- "ANNO"

##### Operaciones Aereas #####
OPERACIONES <- read_xlsx("OPERACIONES.xlsx")
names(CARGAINAL)[1] <- "ANNO"

# ##### PIB #####

PIB_loess <- loess(PIB ~ ANNO, data = PASANAC, control=loess.control(surface="direct"))
# interpolacion_pib <- predict(PIB_loess,PASANAC$ANNO)
# #plot(PASANAC$ANNO, interpolacion_pib, type = "n")
# #lines(PASANAC$ANNO,PASANAC$PIB, col = "black")
# #lines(PASANAC$ANNO,interpolacion_pib, col = "red")
#
# extrapolacion_pib <- predict(PIB_loess, ANNOS_futuro)
#
# pronosticos <- c(interpolacion_pib, extrapolacion_pib)
#
# plot(ANNOS, pronosticos, type = "n", xlab = "ANNO", ylab = "PIB (Pronosticos y Valores reales)")
# lines(PASANAC$ANNO, PASANAC$PIB, col = "black")
# lines(PASANAC$ANNO, interpolacion_pib, col = "red")
# lines(ANNOS_futuro, extrapolacion_pib, col = "blue")
# DatosPib <- data.frame(ANNO = ANNOS, PIB = c(PASANAC$PIB, NA, NA, NA, NA, NA),
#                       PIB_PRON = c(interpolacion_pib, extrapolacion_pib) )
# write_xlsx(DatosPib, "DatosPib.xlsx")

#Variable <- "PIB"
#####

pronostico_SerieUniv <- function(datos, Variable){
  formula_loess <- paste0(Variable, " ~ ", "ANNO")
  modelo_loess <- loess(formula_loess, data = datos,
                        control=loess.control(surface="direct"), span = automatic)
  interpolacion <- predict(modelo_loess, datos$ANNO)
  extrapolacion <- predict(modelo_loess, ANNOS_futuro)
  pronosticos <- c(interpolacion, extrapolacion)
```

```

plot(ANNOS, pronosticos, type = "n", xlab = "ANNO",
     ylab = paste0(Variable, " (Pronosticos y Valores reales)"))
lines(datos$ANNO, datos[[Variable]], col = "black")
lines(datos$ANNO, interpolacion, col = "red")
lines(ANNOS_futuro, extrapolacion, col = "blue")
Datos <- data.frame(ANNO = ANNOS, c(datos[[Variable]], NA, NA, NA, NA, NA),
                    c(interpolacion, extrapolacion))
# write_xlsx(DatosPib, "DatosPib.xlsx")
names(Datos)[2] <- Variable
names(Datos)[3] <- paste0(Variable, "_PRON")
Datos[[paste0(Variable, "_Completo")]] <- ifelse(Datos$ANNO <= 2018,
                                                  Datos[[Variable]],
                                                  Datos[[paste0(Variable, "_PRON")]])

Datos
}

#pronostico_SerieUniv("PIB")

# Variable_interes <- "PASAJEROS"
# vctr_covariables <- c("PIB", "PIB_PERCAPITA", "POBLACION", "IPI",
#                       "EXPORTACIONES", "IMPORTACIONES", "IPC", "TRM")
#vctr_covariables <- c("PIB_PERCAPITA", "POBLACION", "IPI")

pronostico_Serie <- function(datos, Variable_interes, vctr_covariables){
  num_covariables <- length(vctr_covariables)
  lst <- vector(mode = "list", length = num_covariables)
  for(i in 1:num_covariables){
    lst[[i]] <- pronostico_SerieUniv(datos, vctr_covariables[i])
  }
  names(lst) <- vctr_covariables

  df_pronostico <- left_join(lst[[1]], lst[[2]], by = "ANNO")
  for(i in 3:num_covariables){
    df_pronostico <- left_join(df_pronostico, lst[[i]], by = "ANNO")
  }

  df_pronostico <- cbind(c(datos[[Variable_interes]], NA, NA, NA, NA, NA), df_pronostico)
  names(df_pronostico)[1] <- Variable_interes

  # formula_modelo <- as.formula(paste0(Variable_interes, " ~ ", "ANNO + ",
  #                                     paste("PIB_PERCAPITA_Completo + POBLACION_Completo + IPI_Completo")))
  #
  formula_modelo <- as.formula(paste0(Variable_interes, " ~ ", "ANNO + ",
                                     paste(paste0(vctr_covariables, "_Completo"),
                                             collapse = " + ")))

  df_pronosticoInterpolacion <- df_pronostico[1:40,]

  modelo_pron_VarInteres <- lm(formula_modelo,
                              data = df_pronosticoInterpolacion)
  summary(modelo_pron_VarInteres)
  df_pronostico[[paste0(Variable_interes, "_PRON")]] <- predict(modelo_pron_VarInteres, df_pronostico )
  df_pronostico[[paste0(Variable_interes, "_COMPLETA")]] <- ifelse(df_pronostico$ANNO <= 2018,
                                                                df_pronostico[[Variable_interes]],
                                                                df_pronostico[[paste0(Variable_interes, "_PRON")]]) )
  salida <- list(summary(modelo_pron_VarInteres), df_pronostico)
  salida
}

##### Pasajeros NACIONALES #####

pronostico_Serie(PASANAC, Variable_interes = "PASAJEROS",
                vctr_covariables = c("PIB", "PIB_PERCAPITA", "POBLACION", "IPI",
                                     "EXPORTACIONES", "IMPORTACIONES", "IPC", "TRM"))[[1]]
df_pronpasajeros <-

```

```

pronostico_Serie(PASANAC, Variable_interes = "PASAJEROS",
  vctr_covariables = c("PIB", "PIB_PERCAPITA", "POBLACION", "IPI",
    "EXPORTACIONES", "IMPORTACIONES", "IPC", "TRM"))[[2]]
#pronostico_SerieUniv("PIB_PERCAPITA")

```

```

writexl::write_xlsx(df_pronpasajeros, "df_PAXNAC.xlsx")

```

```

##### Pasajeros INTERNACIONAL #####

```

```

pronostico_Serie(PASAINAL, Variable_interes = "PASAJEROS",
  vctr_covariables = c("PIB", "PIB_PERCAPITA", "POBLACION", "IPI",
    "EXPORTACIONES", "IMPORTACIONES", "IPC", "TRM"))[[1]]
df_pronpasajerosINAL <-
  pronostico_Serie(PASAINAL, Variable_interes = "PASAJEROS",
    vctr_covariables = c("PIB", "PIB_PERCAPITA", "POBLACION", "IPI",
      "EXPORTACIONES", "IMPORTACIONES", "IPC", "TRM"))[[2]]
#pronostico_SerieUniv("PIB_PERCAPITA")

```

```

writexl::write_xlsx(df_pronpasajerosINAL, "df_PAXINAL.xlsx")

```

```

##### CARGA NACIONAL #####

```

```

pronostico_Serie(CARGANAC, Variable_interes = "CARGA",
  vctr_covariables = c("PIB", "PIB_PERCAPITA", "POBLACION", "IPI",
    "EXPORTACIONES", "IMPORTACIONES", "IPC", "TRM"))[[1]]
df_pronpasajerosCRGNA <-
  pronostico_Serie(CARGANAC, Variable_interes = "CARGA",
    vctr_covariables = c("PIB", "PIB_PERCAPITA", "POBLACION", "IPI",
      "EXPORTACIONES", "IMPORTACIONES", "IPC", "TRM"))[[2]]
#pronostico_SerieUniv("PIB_PERCAPITA")

```

```

writexl::write_xlsx(df_pronpasajerosCRGNA, "df_CARGNAC.xlsx")

```

```

##### CARGA INTERNACIONAL #####

```

```

pronostico_Serie(CARGAINAL, Variable_interes = "CARGA",
  vctr_covariables = c("PIB", "PIB_PERCAPITA", "POBLACION", "IPI",
    "EXPORTACIONES", "IMPORTACIONES", "IPC", "TRM"))[[1]]
df_pronpasajerosCRGINAL <-
  pronostico_Serie(CARGAINAL, Variable_interes = "CARGA",
    vctr_covariables = c("PIB", "PIB_PERCAPITA", "POBLACION", "IPI",
      "EXPORTACIONES", "IMPORTACIONES", "IPC", "TRM"))[[2]]
#pronostico_SerieUniv("PIB_PERCAPITA")

```

```

writexl::write_xlsx(df_pronpasajerosCRGINAL, "df_CARGINAL.xlsx")

```

```

##### OPERACIONES AEREAS #####

```

```

pronostico_Serie(OPERACIONES, Variable_interes = "OPERACIONES",
  vctr_covariables = c("PIB", "PIB_PERCAPITA", "POBLACION", "IPI",
    "EXPORTACIONES", "IMPORTACIONES", "IPC", "TRM"))[[1]]
df_pronpasajerosOP <-
  pronostico_Serie(OPERACIONES, Variable_interes = "OPERACIONES",
    vctr_covariables = c("PIB", "PIB_PERCAPITA", "POBLACION", "IPI",
      "EXPORTACIONES", "IMPORTACIONES", "IPC", "TRM"))[[2]]
#pronostico_SerieUniv("PIB_PERCAPITA")

```

```

writexl::write_xlsx(df_pronpasajerosOP, "df_OPERACIONES TOTALES.xlsx")

```

Validación de los modelos econométricos de regresión multivariada. Pruebas de normalidad, multicolinealidad, autocorrelación y homocedasticidad

```
> #Supuestos Modelo
> #Shapiro Test= Normalidad
> shapiro.test(MODELO$residuals)

        Shapiro-Wilk normality test

data:  MODELO$residuals
W = 0.93197, p-value = 0.02079

>
> # Homocedasticidad.
> library(lmtest)
> bptest(MODELO, data = PASANAC)

        studentized Breusch-Pagan test

data:  MODELO
BP = 22.994, df = 9, p-value = 0.00621

>
> #Autocorrelacion
> dwtest(MODELO)

        Durbin-Watson test

data:  MODELO
DW = 2.1694, p-value = 0.1921
alternative hypothesis: true autocorrelation is greater than 0
```

Figura 43. Validación de supuestos modelo pasajeros nacionales. Fuente: RStudio

```

> #Supuestos Modelo
> #Shapiro Test= Normalidad
> shapiro.test(MODELO$residuals)

      Shapiro-wilk normality test

data:  MODELO$residuals
W = 0.94192, p-value = 0.04407

>
> # Homocedasticidad.
> library(lmtest)
> bptest(MODELO, data = PASANAC)

      studentized Breusch-Pagan test

data:  MODELO
BP = 14.96, df = 9, p-value = 0.09205

>
> #Autocorrelacion
> dwtest(MODELO)

      Durbin-watson test

data:  MODELO
DW = 1.0231, p-value = 2.106e-07
alternative hypothesis: true autocorrelation is greater than 0

```

Figura 44. Validación de supuestos modelo pasajeros internacionales. Fuente: RStudio

```

>
> #Supuestos Modelo
> #Shapiro Test= Normalidad
> shapiro.test(MODELO$residuals)

      Shapiro-wilk normality test

data:  MODELO$residuals
W = 0.95652, p-value = 0.1363

>
> # Homocedasticidad.
> library(lmtest)
> bptest(MODELO, data = PASANAC)

      studentized Breusch-Pagan test

data:  MODELO
BP = 14.833, df = 9, p-value = 0.09562

>
> #Autocorrelacion
> dwtest(MODELO)

      Durbin-watson test

data:  MODELO
DW = 1.1443, p-value = 3.35e-06
alternative hypothesis: true autocorrelation is greater than 0

```

Figura 45. Validación de supuestos modelo carga nacional. Fuente: RStudio

```
<
> #Supuestos Modelo
> #Shapiro Test= Normalidad
> shapiro.test(MODELO$residuals)

      Shapiro-wilk normality test

data:  MODELO$residuals
W = 0.96533, p-value = 0.2671

>
> # Homocedasticidad.
> library(lmtest)
> bptest(MODELO, data = PASANAC)

      studentized Breusch-Pagan test

data:  MODELO
BP = 31.311, df = 9, p-value = 0.0002618

>
> #Autocorrelacion
> dwtest(MODELO)

      Durbin-watson test

data:  MODELO
DW = 1.6167, p-value = 0.003489
alternative hypothesis: true autocorrelation is greater than 0
```

Figura 46. Validación de supuestos modelo carga internacional. Fuente: RStudio

```
> #Supuestos Modelo
> #Shapiro Test= Normalidad
> shapiro.test(MODELO$residuals)

      shapiro-wilk normality test

data:  MODELO$residuals
W = 0.97598, p-value = 0.5597

>
> # Homocedasticidad.
> library(lmtest)
> bptest(MODELO, data = PASANAC)

      studentized Breusch-Pagan test

data:  MODELO
BP = 11.795, df = 9, p-value = 0.2251

>
> #Autocorrelacion
> dwtest(MODELO)

      Durbin-watson test

data:  MODELO
DW = 1.2611, p-value = 2.98e-05
alternative hypothesis: true autocorrelation is greater than 0
```

Figura47. Validación de supuestos modelo operaciones totales aéreas. Fuente: RStudio