

Pronóstico de la demanda de pasajeros aéreos en nueve
Aeropuertos regionales colombianos

Presentado por:

Eliana Andrea Millán Gordo

Trabajo de grado

Para optar por el título de Ingeniero Civil

Par académico

Heivar Yesid Rodríguez Pinzón

Director

Dr. Ing. Oscar Eduardo Díaz Olariaga, Ph.D.

Universidad Santo Tomás

Facultad de Ingeniería Civil

Bogotá Colombia

2019

Agradecimientos

Inicialmente agradezco a Dios, a mis padres y a mi familia porque sin su ayuda y apoyo no sería quien soy y no hubiese obtenido este logro que hoy en día me permite ser una persona profesional.

En segunda instancia agradezco al Ingeniero Oscar Eduardo Díaz Olariaga quien fue un apoyo en el inicio de este proceso, por su dedicación, por confiar sus conocimientos y experiencias que han sido fundamentales en el desarrollo de este proyecto, así mismo a mi par académico Heivar Yesid Rodríguez Pinzón gracias por su apoyo y por compartir sus grandes conocimientos sin ellos el desarrollo de este trabajo no se hubiera podido llevar a cabalidad.

Resumen

El presente trabajo desarrolla un análisis de los pronósticos de tráfico aéreo a corto plazo (5 años) de pasajeros nacionales e internacionales para nueve Aeropuertos regionales de Colombia, teniendo en cuenta el papel que juega la privatización en la demanda de cada uno de estos. Para evaluar los efectos en la prognosis de cada aeropuerto se desarrollaran dos modelos de series de tiempo el primero empleando la conocida metodología de Box–Jenkins el modelo ARIMA y el segundo un modelo lineal dinámica (MLD), posterior se realizara un comparativa entre los resultados de dichos pronósticos y el tráfico realmente observado, y su correspondiente análisis.

Palabras clave: aeropuertos, transporte aéreo, pronóstico, demanda, privatización de aeropuertos, Colombia.

Abstract

This paper develops an analysis of the short-term air traffic forecasts (5 years) of national and international passengers for nine regional Airports in Colombia, taking into account the role that privatization plays in the demand of each of these. To evaluate the effects on the forecast of each airport, two time series models will be developed, the first one using the Box - Jenkins evaluation methodology, the ARIMA model and the second dynamic linear model (MLD), later a comparative comparison between the results of said considerations and the traffic actually seen, and their corresponding analysis.

Keywords: airports, air transport, forecast, demand, airport privatization, Colombia.

Tabla de contenido

Introducción.....	9
Objetivos	10
Generales	10
Específicos.....	10
Justificación.....	11
Marco conceptual	11
Tráfico Aéreo	11
Econometría.....	16
Objetivos del análisis de series de tiempo.....	19
Modelos econométricos.....	19
Modelos de series temporales no estacionarias y estacionales.....	19
Descomposición básica de una serie temporal	20
Análisis univariante	20
Componente aleatorio → <i>at</i>	20
Metodología de Box-Jenkins.....	21
Modelo ARMA.....	23
Ventaja modelo ARMA.....	27
Desventaja modelo ARMA	27
Modelo ARIMA	27
Notación general (Box Jenkins)	28
Modelos ARIMA para series de tiempo no estacionarias	29
Casos especiales	29
Supuestos del modelo ARIMA.....	30
Identificación de un modelo ARIMA.....	31
Ventajas modelo ARIMA.....	32
Desventajas modelo ARIMA	32
Modelo lineal dinámico.....	32
Casos particulares.....	34
Modelos lineales dinámicos generalizados (MLDG).....	37
Caso de estudio.....	38
Tráfico aéreo en los aeropuertos regionales de Colombia.....	38

Análisis del transporte aéreo en Colombia.....	38
Localización y caracterización de aeropuertos a estudiar	41
Concesión y privatización	44
Metodología.....	48
Datos.....	49
Resultados y análisis	50
Observaciones y comentarios para tener en cuenta en los análisis y posibles resultados	50
Casos particulares	50
Casos generales	51
Resultados y análisis del modelo ARIMA	52
Resultados y análisis pasajeros nacionales Modelo ARIMA	52
Resultados y análisis pasajeros Internacionales	76
Resultados y análisis del modelo lineal dinámico (MLD)	88
Resultados y análisis pasajeros Nacionales.....	89
Resultados y análisis pasajeros Internacionales	104
Conclusiones	111
Referencias	114
Anexos.....	116

Lista de Tablas

Tabla 1. Casos modelo autorregresivos AR (p).....	25
Tabla 2. Casos modelo de medias móviles MA (q).....	26
Tabla 3. Aeropuertos regionales de Colombia	41
Tabla 4. Clave de aeródromo	43
Tabla 5. Aeropuertos concesionados.....	48
Tabla 6. Información de base de datos	49
Tabla 7. Proyecciones de Pasajeros Nacionales Aeropuerto ADZ a 5 años	53
Tabla 8. Proyecciones de Pasajeros Nacionales Aeropuerto ADZ a 3 años.....	54
Tabla 9. Proyecciones de Pasajeros Nacionales Aeropuerto BAQ a 5 años.	56
Tabla 10. Proyecciones de Pasajeros Nacionales Aeropuerto BAQ a 3 años.....	57
Tabla 11. Proyecciones de Pasajeros Nacionales Aeropuerto CTG a 5 años.	59
Tabla 12. Proyecciones de Pasajeros Nacionales Aeropuerto CTG a 3 años.	60
Tabla 13. Proyecciones de Pasajeros Nacionales Aeropuerto BGA a 5 años.....	62
Tabla 14. Proyecciones de Pasajeros Nacionales Aeropuerto BGA a 3 años.....	63

Tabla 15. Proyecciones de Pasajeros Nacionales Aeropuerto MDE a 5 años.	65
Tabla 16. Proyecciones de Pasajeros Nacionales Aeropuerto MDE a 3 años.	66
Tabla 17. Proyecciones de Pasajeros Nacionales Aeropuerto PEI a 5 años.	68
Tabla 18. Proyecciones de Pasajeros Nacionales Aeropuerto PEI a 3 años.	69
Tabla 19. Proyecciones de Pasajeros Nacionales Aeropuerto CLO a 5 años.	71
Tabla 20. Proyecciones de Pasajeros Nacionales Aeropuerto CLO a 3 años.	72
Tabla 21. Proyecciones de Pasajeros Nacionales Aeropuerto SMR a 5 años.	74
Tabla 22. Proyecciones de Pasajeros Nacionales Aeropuerto SMR a 3 años.	75
Tabla 23. Proyecciones de Pasajeros Internacionales Aeropuerto MDE a 5 años.	77
Tabla 24. Proyecciones de Pasajeros Internacionales Aeropuerto MDE a 3 años.	78
Tabla 25. Proyecciones de Pasajeros Internacionales Aeropuerto BAQ a 5 años.	80
Tabla 26. Proyecciones de Pasajeros Internacionales Aeropuerto BAQ a 3 años.	81
Tabla 27. Proyecciones de Pasajeros Internacionales Aeropuerto CTG a 5 años.	83
Tabla 28. Proyecciones de Pasajeros Internacionales Aeropuerto CTG a 3 años.	84
Tabla 29. Proyecciones de Pasajeros Internacionales Aeropuerto CLO a 5 años.	86
Tabla 30. Proyecciones de Pasajeros Internacionales Aeropuerto CLO a 3 años.	87
Tabla 31. Valores principales del MLD (ADZ).	91
Tabla 32. Valores principales del MLD (BAQ).	92
Tabla 33. Valores principales del MLD (CTG)	94
Tabla 34. Valores principales del MLD (BGA).	95
Tabla 35. Valores principales del MLD (EOH)	97
Tabla 36. Valores principales del MLD (MDE)	99
Tabla 37. Valores principales del MLD (PEI)	100
Tabla 38. Valores principales del MLD (CLO)	102
Tabla 39. Valores principales del MLD (SMR).	103
Tabla 40. Valores principales del MLD (MDE)	105
Tabla 41. Valores principales del MLD (BAQ).	107
Tabla 42. Valores principales del MLD (CTG)	108
Tabla 43. Valores principales del MLD (CLO)	110

Lista de Figuras

Figura 1. Procedimiento etapas modelo ARIMA.	27
Figura 2. Desarrollo de pasajeros totales transportados en Colombia.	40
Figura 3. Ubicación geográfica aeropuertos regionales de Colombia a analizar	42
Figura 4. Modelo Eviews-Aeropuerto ADZ.	53
Figura 5. Proyección Pasajeros Nacionales Aeropuerto (ADZ) a 5 años	54
Figura 6. Proyección Pasajeros Nacionales Aeropuerto (ADZ) a 3 años	55
Figura 7. Modelo Eviews-Aeropuerto BAQ	55
Figura 8. Proyección Pasajeros Nacionales Aeropuerto (BAQ) a 5 años	57
Figura 9. Proyección Pasajeros Nacionales Aeropuerto (BAQ) a 3 años	58
Figura 10. Modelo Eviews-Aeropuerto CTG.	59

Figura 11. Proyección Pasajeros Nacionales Aeropuerto (CTG) a 5 años.....	60
Figura 12. Proyección Pasajeros Nacionales Aeropuerto (CTG) a 3 años.....	61
Figura 13. Modelo Eviews-Aeropuerto BGA.....	62
Figura 14. Proyección Pasajeros Nacionales Aeropuerto (BGA) a 5 años	63
Figura 15. Proyección Pasajeros Nacionales Aeropuerto (BGA) a 3 años	64
Figura 16. Modelo Eviews-Aeropuerto MDE	65
Figura 17. Proyección Pasajeros Nacionales Aeropuerto (MDE) a 5 años	66
Figura 18. Proyección Pasajeros Nacionales Aeropuerto (MDE) a 3 años	67
Figura 19. Modelo Eviews-Aeropuerto PEI.....	68
Figura 20. Proyección Pasajeros Nacionales Aeropuerto (PEI) a 5 años	69
Figura 21. Proyección Pasajeros Nacionales Aeropuerto (PEI) a 3 años	70
Figura 22. Modelo Eviews-Aeropuerto CLO	70
Figura 23. Proyección Pasajeros Nacionales Aeropuerto (CLO) a 5 años.....	72
Figura 24. Proyección Pasajeros Nacionales Aeropuerto (CLO) a 3 años.....	73
Figura 25. Modelo Eviews-Aeropuerto SMR.....	74
Figura 26. Proyección Pasajeros Nacionales Aeropuerto (SMR) a 5 años	75
Figura 27. Proyección Pasajeros Nacionales Aeropuerto (SMR) a 3 años	76
Figura 28. Modelo Eviews-Aeropuerto MDE	77
Figura 29. Proyección Pasajeros Internacionales Aeropuerto (MDE) a 5 años	78
Figura 30. Proyección Pasajeros Internacionales Aeropuerto (MDE) a 3 años	79
Figura 31. Modelo Eviews-Aeropuerto BAQ.....	80
Figura 32. Proyección Pasajeros Internacionales Aeropuerto (BAQ) a 5 años	81
Figura 33. Proyección Pasajeros Internacionales Aeropuerto (BAQ) a 3 años	82
Figura 34. Modelo Eviews-Aeropuerto CTG.....	83
Figura 35. Proyección Pasajeros Internacionales Aeropuerto (CTG) a 5 años.....	84
Figura 36. Proyección Pasajeros Internacionales Aeropuerto (CTG) a 3 años.....	85
Figura 37. Modelo Eviews-Aeropuerto CLO	85
Figura 38. Proyección Pasajeros Internacionales Aeropuerto (CLO) a 5 años.....	87
Figura 39. Proyección Pasajeros Internacionales Aeropuerto (CLO) a 3 años.....	88
Figura 40. Ajuste del modelo a la serie (ADZ).....	90
Figura 41. Pronostico a muy corto plazo MLD (ADZ).....	90
Figura 42. Ajuste del modelo a la serie (BAQ)	91
Figura 43. Pronostico a muy corto plazo MLD (BAQ)	92
Figura 44. Ajuste del modelo a la serie (CTG).....	93
Figura 45. Pronostico a muy corto plazo MLD (CTG).....	93
Figura 46. Ajuste del modelo a la serie (BGA)	94
Figura 47. Pronostico a muy corto plazo MLD (BGA)	95
Figura 48. Ajuste del modelo a la serie (EOH).....	96
Figura 49. Pronostico a muy corto plazo MLD (EOH)	97
Figura 50. Ajuste del modelo a la serie (MDE)	98
Figura 51. Pronostico a muy corto plazo MLD (MDE)	98
Figura 52. Ajuste del modelo a la serie (PEI).....	99

Figura 53. Pronostico a muy corto plazo MLD (PEI).....	100
Figura 54. Ajuste del modelo a la serie (CLO).....	101
Figura 55. Pronostico a muy corto plazo MLD (CLO).....	101
Figura 56. Ajuste del modelo a la serie (SMR)	102
Figura 57. Pronostico a muy corto plazo MLD (SMR)	103
Figura 58. Ajuste del modelo a la serie (MDE)	104
Figura 59. Pronostico a muy corto plazo MLD (MDE)	105
Figura 60. Ajuste del modelo a la serie (BAQ)	106
Figura 61. Pronostico a muy corto plazo MLD (BAQ)	106
Figura 62. Ajuste del modelo a la serie (CTG).....	107
Figura 63. Pronostico a muy corto plazo MLD (CTG).....	108
Figura 64. Ajuste del modelo a la serie (CLO).....	109
Figura 65. Pronostico a muy corto plazo MLD (CLO).....	109

Lista de Anexos

Anexo 1. Tipo de aviones que operan en cada aeropuerto	116
Anexo 2. Cuadro resumen de los modelos implementados para el análisis de los aeropuertos regionales colombianos.....	117

Introducción

El desarrollo de pronósticos aeroportuarios, es una actividad conocida también como "prognosis de tráfico aéreo", tiene el objetivo de prever la demanda de tráfico a corto, medio, y largo plazo. Para realizar tal actividad es imprescindible disponer de un importante históricos de datos (series de tiempo) tanto aeronáuticos (pasajeros, carga, operaciones) como socio-económicos (PIB, PIB per cápita, población, IPC, etc.) de la región/país en donde se encuentra el aeropuerto. Con esta información los expertos recurren a modelos estadísticas, generalmente modelos econométricos, para realizar las proyecciones antes citadas. Entonces, este será el caso del presente proyecto de grado, en donde el "caso de estudio" será un conjunto de aeropuertos regionales colombianos, en total nueve, que conforman, junto con el principal aeropuertos del país (Bogotá-El Dorado), el *top ten* de la red nacional de aeropuertos (por nº de pasajeros transportados). Como del histórico de datos aeronáuticos (de 40 años) solo se dispone de pasajeros (nacionales e internacionales), pues solo de ello se realizará el pronóstico, y el mismo se hará a corto plazo (5 años, 2019-2023), ya que aunque la serie temporal es considerable desde el punto de vista puramente estadístico no es lo suficientemente extensa (mínimo 50 años) para realizar pronósticos fiables a medio y largo plazo. Asimismo, un periodo de corto plazo, de 5 años, es del todo correcto para el caso de estudio, ya que el transporte aéreo colombiano está experimentado una elevada dinámica de crecimiento (muy por encima de la media mundial) y sumando a ello el transporte aéreo es muy susceptible / sensible a variables del entorno, por lo que no se justifica un pronóstico a tiempos largos, ya que no reflejarían la verdad (los modelos no serían fiables).

Objetivos

Generales

- Desarrollar pronósticos de pasajeros aéreos o prognosis de tráfico aéreo utilizando modelos estadísticos econométricos.

Específicos

- Considerar el desarrollo de tráfico aéreo de los aeropuertos en estudio en las últimas cuatro décadas, hasta el presente.
- Considerar que todos los aeropuertos en estudio están concesionados (con gobernanza privada), se hará un análisis y evaluación de comportamiento de la demanda entre el "antes" (gestión pública) y el "después" (gestión privada) de cada aeropuerto.
- Calcular el pronóstico de pasajeros aéreos a corto plazo (5 años) para todos los aeropuertos en estudio, utilizando modelos estadísticos econométricos.

Justificación

Determinar la proyección de la demanda ayuda a los gestores/ administradores aeroportuarios a planificar el desarrollo de las infraestructuras necesarias como así también las inversiones requeridas en el tiempo. Este tipo de tarea se suele desarrollar en los “Planes maestros” de los aeropuertos, los cuales se deben actualizar cada 4 o 5 años. Se desconoce si existen planes maestros de los aeropuertos secundarios o regionales de Colombia, probablemente los habrá, pero solo de algunos, y no siempre estarán (todos) actualizados. Por ello, este trabajo, posiblemente el primero en su tipo en Colombia, persigue proveer una estimación de la demanda de pasajeros aéreo, a corto plazo, en un conjunto de aeropuertos (todos ellos de gestión/ gobernanza privada), de alto impacto y relevancia, de la red aeroportuaria colombiana.

Marco conceptual

Cabe recalcar que el presente proyecto investigativo divide los marcos en dos grandes temas coherentes que son, uno concerniente con el transporte aéreo en donde se mencionan conceptos que vinculan y dan mayor entendimiento a lo que es la planificación y organización a la hora de hablar de demanda de un aeropuerto y algunas especificaciones que permiten satisfacer los requerimientos de las proyecciones y el otro vinculado con el área de la Econometría, en el cual se describirán los modelos existentes que permitan calcular la prognosis de los pasajeros y en consiguiente seleccionar el modelo que se adecue y sea más favorable para el cálculo de los pronósticos deseados, comparando los resultados con otro modelo a implementar.

Tráfico Aéreo

Para iniciar esta sección es necesario definir el concepto de transporte aéreo ya que es el eje principal de la temática a tratar:

Se definirá como el desplazamiento voluntario y organizado de personas y cosas con el fin de producir valores útiles por cambio de localización; es decir, generar valor cambiando cosas de lugar. Durante el transporte entrarán en juego diversos elementos que definirán y distinguirán diferentes tipos dependiendo del medio en el que se realice, los elementos transportados o la infraestructura necesaria para realizarlo. (Gil, 2013).

A continuación, se presentan un conjunto de conceptos y definiciones, según la bibliografía más destacada y referenciada, a nivel internacional, en materia de ingeniería aeroportuaria y transporte aéreo.

En primera instancia se tiene lo determinado por la (Aerocivil, 2014)

- UAEAC: La Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil o Aerocivil es el organismo estatal colombiano encargado del control y regulación de la aviación civil en Colombia.
- Aeródromo: Un aeródromo es un área definida de tierra o de agua (que incluye todas sus edificaciones, instalaciones y equipos) destinado total o parcialmente a la llegada, salida y movimiento en superficie de aeronaves.
- Longitud del campo de referencia del avión: La longitud de campo mínima necesaria para el despegue con el peso máximo homologado de despegue al nivel del mar, en atmósfera tipo, sin viento y con pendiente de pista cero, como se indica en el correspondiente manual de vuelo del avión, prescrito por la autoridad que otorga el certificado.
- Clave de referencia: La UAEAC determinará una clave de referencia para el aeródromo (Número y Letra) que se seleccione para fines de planificación del aeródromo de acuerdo con las características de los aviones para los que se destine el mismo.
- Envergadura: distancia entre los dos extremos de las alas.

- Capacidad y demanda: Concepto que relaciona la infraestructura instalada y los servicios disponibles en un periodo de tiempo, respecto de los requisitos para ese mismo periodo de tiempo de infraestructura y servicios, a partir del análisis de la prognosis de aeronaves y pasajeros en horas punta.
- Plan maestro aeroportuario (PMA): 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 de transporte aéreo, hasta alcanzar su máxima expansión previsible. Todo aeropuerto 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.
- Previsión: se describe como la incertidumbre inherente al hacer predicciones sobre el futuro en cual se busca medir el riesgo o medir los parámetros de un cálculo impredecible; La incertidumbre se refiere a una imprevisible incalculable.
- Pronóstico: Implica típicamente la suposición de que la incertidumbre se puede modelar 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 esta suposición: que el futuro puede ser pronosticado confiablemente analizando el pasado. La variable se mueve de una manera distinguible; evoluciona cíclicamente sigue una tendencia y exhibe estacionalidad. Sigue siendo desconocido lo que sucederá en el futuro, pero es razonable suponer que sin una gran perturbación, la variable continuara 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 uní-variados funcionan bastante bien en el corto plazo.

- **Aeródromo Nacional:** Es todo aeródromo designado por la Autoridad Aeronáutica exclusivamente para operaciones aéreas con origen y destino entre puntos situados dentro del territorio Nacional. Salvo permiso especial de la Autoridad Aeronáutica, ninguna operación internacional, podrá tener como origen o destino un aeropuerto nacional, dentro del territorio colombiano.
- **Aeródromo Internacional:** Teniendo en cuenta que las operaciones internacionales requieren de instalaciones y servicios complementarios que van más allá del solo aeródromo, estos al estar dotados con tales instalaciones y servicios tendrán el carácter de aeropuerto.

Y en segunda instancia se complementa con lo analizado por (Ramos Quintín & Cárdenas Jiménes, 2016)

- **Objetivo fundamental de los pronósticos:** Los pronósticos son un ingrediente crucial en la planificación aeroportuaria para la determinación de los requisitos de capacidad futuros. 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 flujo de pasajeros y los volúmenes de carga aérea, brinda a los planificadores e inversores la información necesaria para tomar decisiones efectivas.
- **Horizonte de los pronósticos:** En la industria aeroportuaria es muy común realizar previsiones (prognosis de tráfico aéreo) en cuatro horizontes temporales: a muy corto plazo (1-2 años), a corto plazo (3-5 años), a medio plazo (10 años) y largo plazo (20 años o más).
- **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.
- **La prognosis de tráfico se suele realizar a corto (5 años), medio (10 años), largo (15 años) y muy largo (20 años o más) plazo.**

En dicho estudio de prognosis, es importante realizar la predicción de, al menos, los siguientes parámetros: De pasajeros, internacional y nacional.

- **Análisis de capacidad / demanda:** Una vez obtenidas las demandas de tráfico que se prevén en cada año horizonte, se necesita efectuar un estudio de capacidad de la infraestructura según los esquemas preliminares que pueden tantearse para satisfacer mejor aquella demanda. El estudio de la capacidad para desarrollar un aeropuerto existente, comprende el área de movimiento y la zona terminal, fundamentalmente Edificios Terminales de Pasajeros, dependiendo de las características del aeropuerto.

Econometría

Para el dominio y mejor comprensión de esta área se mencionaran algunos conceptos y definiciones puntuales como lo son:

- Software R: implementado para modelar modelos lineales dinámicos.
- Software Eviews: implementado para modelar modelos clásicos como lo son ARMA o ARIMA sin covariables.
- Métodos de pronóstico cuantitativos: Los métodos de pronóstico cuantitativos se pueden clasificar en dos categorías principales: análisis de series de tiempo y métodos casuales. Algunas de las técnicas más ampliamente utilizadas en estas dos subcategorías incluyen proyecciones de tendencias, métodos de descomposición y análisis de regresión. (Ramos Quintín & Cárdenas Jiménez, 2016).
- Horizonte de predicción: El tiempo que una predicción es hecha para pronosticar también conocida como horizonte y período de predicción.
- Series temporales: se define como una colección de observaciones de una variable recogidas secuencialmente en el tiempo. Estas observaciones se suelen recoger en instantes de tiempo equiespaciados. Si los datos se recogen en instantes temporales de forma continua, se debe o bien digitalizar la serie, es decir, recoger sólo los valores en instantes de tiempo equiespaciados, o bien acumular los valores sobre intervalos de tiempo. (halweb, 2019).
- Modelos estacionales: “es estacionaria cuando es estable, es decir, cuando la media y la variabilidad son constantes a lo largo del tiempo”. (halweb, 2019).

- Modelos no estacionales: “Son series en las cuales la media y/o variabilidad cambian en el tiempo. Los cambios en la media determinan una tendencia a crecer o decrecer a largo plazo, por lo que la serie no oscila alrededor de un valor constante”. (halweb, 2019).
- Proceso estocástico: X_t ; $t = 1; 2; 3; \dots$:es una sucesión de variables aleatorias, indexadas por la variable tiempo. Las variables aleatorias pueden ser independientes entre sí o no, y pueden tener la misma distribución de probabilidad, o una distribución de probabilidad diferente. (Novales, 2016).
- Modelo autorregresivo (AR): es una representación de un tipo de proceso aleatorio, el cual describe ciertos procesos variables en el tiempo ya sea en la naturaleza, la economía, etc. El modelo autorregresivo especifica que la variable de salida depende linealmente de sus propios valores anteriores. Se trata de un caso especial del más general modelo ARMA (modelo autorregresivo de media móvil) de series de tiempo. (halweb, 2019)
- Invertibilidad: un proceso de serie converge en un modelo estacionario, es decir que el operador B converge en este caso para valores mayores a 1 en el modelo.
- Los Modelos de Series Temporales pueden ser:
Univariantes: sólo se analiza una serie temporal en función de su propio pasado.
Multivariantes: se analizan varias series temporales a la vez. (halweb, 2019).

El proceso de predicción económica se basa en la moderna metodología econométrica que, tal y como la conocemos en el presente, comenzó a principios de los años 40, e incorpora tanto los desarrollos en el tratamiento de series temporales como la econometría espacial, siendo necesario el empleo de técnicas/modelos estadístico-econométricos para alcanzar un nivel suficiente de precisión. (Pulido y López, 1999; López, 2016a)

Los métodos de modelización econométrica son las técnicas más complejas y sofisticadas; Considera multitud de variables que afectan a la actividad pronosticada. Pueden ser regresiones tanto lineales como no lineales que definen las variables explicativas en función de las dependientes. El coeficiente de correlación cruzada, entre la variable dependiente y las diversas explicativas, sirve para elegir las mejores variables explicativas. Por agilidad del proceso no es recomendable tomar más de 1 o 2 tipos de variables; La ventaja de estos modelos radica en que permite conocer de forma precisa la evolución por segmentos, la desventaja es la complicación de hallar la regresión múltiple más idónea, desde la multilineal hasta cualquier posible combinación de funciones. (Universidad politécnica de Madrid, 2019).

La tipología de base de datos o información que se disponga determina en el proceso de predicción o proyección económica el tipo de modelo más apropiado a implementar; de acuerdo a lo antes mencionado dicen que:

La información se clasifica en cuantitativa “basada en datos o modelos, los cuales se dividen en series temporales (modelos estacionales o no estacionales) o en métodos causales (datos de mercado, econométricos, poblacionales)” (Universidad politécnica de Madrid, 2019), o cualitativa “basada en la experiencia, sentido común o conocimiento” (Universidad politécnica de Madrid, 2019).

Se dice que “El primer enfoque es propio del análisis de series temporales, en datos de alta frecuencia, con la finalidad de predecir el futuro basándose en una cierta ley estadística o patrón que puede deducirse del comportamiento históricamente observado”. (López, Flores, & Sánchez, 2017).

Objetivos del análisis de series de tiempo

Cuando se habla de series de tiempo se hace hincapié en dos objetivos fundamentales que son los mencionados por (Ravines, 2007).

1. Entender el mecanismo de generación de la serie de tiempo
 - Describir eficientemente el comportamiento de la serie.
 - Encontrar “razones” o “explicaciones” para el comportamiento de la serie (tal vez con otras variables).
 - Controlar la trayectoria de la serie.
2. Prever valores futuros de las series
 - Hacer planes de corto, medio y largo plazo.
 - Tomar decisiones apropiadas.

Modelos econométricos

Modelos de series temporales no estacionarias y estacionales.

Para iniciar a hablar del tipo de modelo que se va a implementar debemos analizar el tipo de datos o series que se van a usar, si son estacionales o no estacionarias lo cual se logra verificando o determinando por medio del análisis de la gráfica de los datos, a partir de esto se seleccionara el modelo más adecuado.

Teniendo en cuenta los siguientes parámetros: “Se traza la serie y se examinan las características principales del gráfico, verificando en particular si existe:

- (a) Una tendencia.
- (b) Un componente estacional o no estacionario.
- (c) Cualquier cambio agudo aparente en el comportamiento.
- (d) Cualquier observación periférica”. (Brockwell & Davis, 2002)

Descomposición básica de una serie temporal

La explicación y deducción de la descomposición básica de una serie temporal se toma como base de (Sánchez Naranjo & García-Martos, 2012) que dicen lo siguiente

Valor observado = tendencia + estacionalidad + comp. irregular

$$Z_t = T_t + S_t + I_t \quad [1]$$

Donde:

- **Tendencia:** movimiento suave de la serie a largo plazo.
- **Estacionalidad:** movimientos de oscilación dentro del mes, año (p. ej.).
- **Irregular:** variaciones aleatorias alrededor de los componentes anteriores.

Análisis univariante

Para este análisis se tienen en que existen dos análisis, el primero método clásico en el cual se busca Z_t^* y el segundo metodología Box-Jenkins se centra en buscar a_t .

$$Z_t = Z_t^* + a_t \quad [2]$$

Donde:

Z_t : Serie observada

Z_t^* : Componente predecible

a_t : Componente aleatorio

Componente aleatorio $\rightarrow a_t$

Se enfatizara en el componente aleatorio a_t que es considerado un caso especial de ruido blanco

$Z_t = a_t$ que tiene media cero y varianza constante σ^2 , y los siguientes parámetros:

- Covarianza estacionaria

$$E(a_t) = 0 \quad , \quad t = 1, 2, \dots$$

- Varianza

$$var(a_t) = \sigma^2, \quad t = 1, 2, \dots$$

- Autocovarianza

$$cov(a_t, a_{t-k}) = 0, \quad k = \pm 1, \pm 2.$$

Metodología de Box-Jenkins

El objetivo de la metodología Box – Jenkins es identificar y estimar un modelo estadístico que puede ser interpretado como generador de la información de la muestra. En este sentido, si el modelo estimado es usado para la predicción debe suponerse que las características de la serie son constantes en el tiempo, especialmente para los periodos futuros. Por lo tanto, la predicción se efectúa sobre una base válida considerando que el modelo es estacionario o estable.

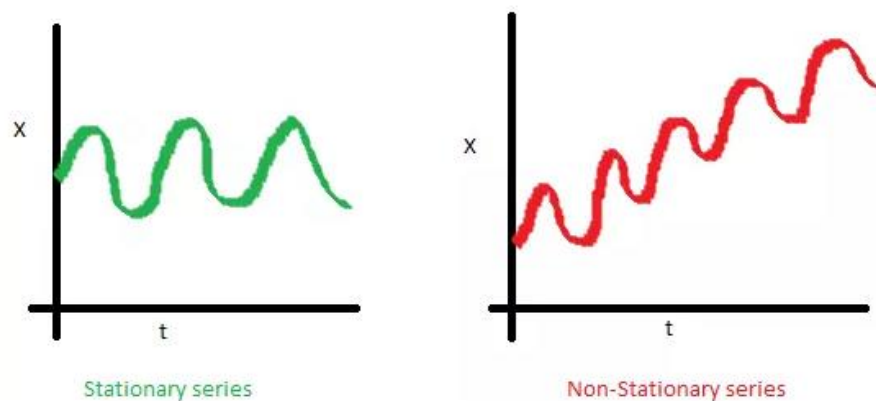
Este método de predicción se basa en el análisis de las propiedades probabilísticas o estocásticas de las series de tiempo económicas en sí mismas, pues una variable Y_t puede ser expresada como una función de sus valores pasados, razón por la que algunas veces se les denomina modelos ateóricos, donde no existe relación causal alguna a diferencia de los modelos clásicos de regresión. (Rosales, Delgado, Vasquez, & Marino, 2008).

Se determinan dos aspectos importantes en el análisis del modelo que son tomados de (López, 2018) y determina lo siguiente:

Estacionalidad: una serie temporal es estacionaria cuando la media y la variabilidad se mantienen constantes a lo largo del tiempo, es decir, no es en función del tiempo; y además, no presenta tendencia; Porque, en la mayoría de modelos y análisis de series temporales, es *indispensable* que éstas sean estacionarias, parten bajo éste supuesto. Cuando no es el caso, el primer requisito suele ser estacionariedad, lo cual se suele conseguir aplicando logaritmos (para corregir heterocedasticidad), diferencia regular

(eliminar tendencia), diferencia estacional (eliminar componente estacional), etc. Entonces a partir de aquí, intentar construir modelos estocásticos para poder predecir la serie.

Para ejemplificar; modelos estacionarios, suelen referirse a los modelos de medias móviles y modelos ARMA y en cuanto a modelos no estacionarios, encontramos los modelos ARIMA; se observa ejemplificada en la siguiente imagen en la gráfica verde se evidencia la estacionalidad (la serie tiene una media y una variabilidad constantes en el tiempo) y la gráfica roja evidencia la no estacionalidad de una serie (la cual presenta una tendencia que son los picos de decrecimiento y crecimiento observados, presenta una media que no es constante en el tiempo).



Raíces unitarias (Unit roots): es una tendencia estocástica en la serie temporal.

Algunas veces se le llama “paseo aleatorio con deriva”. Por tanto, si la serie tiene una raíz unitaria, ésta presenta un patrón sistemático que es impredecible.

Cabe recalcar:

“Entonces, una serie temporal es estacionaria si un cambio en el tiempo no cambia la forma de la distribución; y las raíces unitarias son una causa de no estacionariedad.”

Existen dos procedimientos comunes para remover la tendencia de una serie temporal (1) primeras diferencias (2) regresión tendencial. Las primeras diferencias suelen ser apropiadas para series temporales integradas de orden uno -I (1)-; mientras que la regresión tendencial es apropiada para series con estacionariedad tendencial I (0). Los tests de raíces unitarias pueden ser usados para determinar si una serie con tendencia primero deber ser diferenciada o hacer una regresión tendencial, esto es, si hay estacionariedad tendencial o diferencial.

Existen dos pruebas para determinar la estacionariedad de las series

- El test de **Dickey-Fuller Aumentado** (o también llamado prueba de raíz unitaria), elimina la autocorrelación e indica si una serie es estacionaria o no.
- El test de **Phillips-Perron (PP)**, es una modificación de test de Dickey-Fuller. Este test corrige la autocorrelación y heterocedasticidad en los errores.

En estos tests, la hipótesis nula es que la serie tiene raíces unitarias, por tanto, no es estacionaria. Por ende, la hipótesis alternativa es que la serie es estacionaria y k , corresponde al orden de retrasos.

- Con un **p-valor inferior a 0.05, la hipótesis nula se suele rechazar.**

Modelo ARMA

En estadística, los **modelos autorregresivos de media móvil** (en inglés *AutoRegressive Moving Average models*, abreviados **ARMA**), también llamados *Modelos Box-Jenkins*, se aplican a series temporales de datos.

Dada una serie temporal de datos Z_t , el modelo ARMA es una herramienta para entender y, aún más, para predecir futuros valores de la serie. El modelo está formado por

dos partes, una parte autorregresiva (AR) y otra de media móvil (MA). El modelo se conoce con el nombre de modelo ARMA (p,q) , donde p es el orden de la parte autorregresiva y q es el orden de la parte de media móvi. (halweb, 2019).

Para empezar a hablar de un modelo arma se toma la estructura encontrada y propuesta por (Hernández, 2015).

Se menciona que $\{Z_t\}$ es un proceso ARMA (p,q) , si $\{Z_t\}$ esta estacionaria y si para cada t , se tienen encuentra el siguiente proceso:

1) Media

$$\mu_t = \mu : \text{es constante}$$

2) varianza

$$\sigma^2_t = \sigma^2 : \text{es constante}$$

3) Función de Autocovarianza

$$\gamma(t, t - k) = E[(Z_t - \mu)(Z_{t-k} - \mu)] = \gamma_k, \quad k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

Descripción del modelo

$$\phi(B)Z_t = \mu + \Theta(B)a_t \quad [3]$$

Donde:

$$\Theta(B) = (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q) \quad [3,1]$$

q : orden del polinomio $\Theta(B)$

$\Theta(B)$: es el polinomio de rezagos en a_t

$$\phi(B) = (1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p) \quad [3,2]$$

p : orden del polinomio $\phi(B)$

$\phi(B)$: es el polinomio de rezagos en Z_t

$$B^k Z_t = Z_{t-k} \quad [3,3]$$

B: operador de rezagos (backshift)

ϕ_1 y Θ_1 : son ponderados poblacionales AR y MA
$\hat{\phi}_1$ y $\hat{\Theta}_1$: son los estimadores muestrales de AR y MA
μ : es la media de Z_t (c constante es el estimador muestral)

I. Modelos autorregresivos AR (p)

Objetivo encontrar (p)

$$(1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p) Z_t = c + a_t \quad [4]$$

$$Z_t = c + \phi_1 Z_{t-1} + \phi_2 Z_{t-2} + \dots + \phi_p Z_{t-p} + a_t, a_t \rightarrow N(0, \sigma_a^2) \quad [4,1]$$

Tabla 1. Casos modelo autorregresivos AR (p)

Caso	Forma	a_t	Condiciones de estacionaridad	condiciones de invertibilidad
AR (1)	$(1 - \phi_1 B) Z_t = c + a_t$ $Z_t = c + \phi_1 Z_{t-1} + a_t$	$a_t \rightarrow N(0, \sigma_a^2)$	$ \phi_1 < 1$	Es invertible
AR (2)	$(1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2) Z_t = c + a_t$ $Z_t = c + \phi_1 Z_{t-1} + \phi_2 Z_{t-2} + a_t$	$a_t \rightarrow N(0, \sigma_a^2)$	$ \phi_2 < 1$ $\phi_2 + \phi_1 < 1$ $\phi_2 - \phi_1 < 1$	Es invertible

Nota: En la tabla se muestran los dos casos que hay para el modelo autorregresivo AR (p), de orden 1 y 2 con sus respectivas condiciones. "Análisis de series de tiempo", Hernández, S.2015. Adaptado de:

https://www.cepal.org/sites/default/files/courses/files/01_2_arima.pdf.

II. Modelos de medias móviles (MA) q

Objetivo encontrar (q)

$$Z_t = c + (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q) a_t \quad [5]$$

$$Z_t = c + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \dots - \theta_q a_{t-q}, a_t \rightarrow N(0, \sigma_a^2) \quad [5,1]$$

Tabla 2. Casos modelo de medias móviles MA (q)

Caso	Forma	a_t	Condiciones de estacionariedad	condiciones de invertibilidad
MA (1)	$Z_t = c + (1 - \theta_1 B)a_t$ $Z_t = c + a_t - \theta_1 a_{t-1}$	$a_t \rightarrow N(0, \sigma_a^2)$	Es estacionaria	$ \theta_1 < 1$
MA (2)	$Z_t = c + (1 - \theta_2 B^2)a_t$ $Z_t = c + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2}$	$a_t \rightarrow N(0, \sigma_a^2)$	Es estacionaria	$ \theta_2 < 1$ $\theta_2 + \theta_1 < 1$ $\theta_2 - \theta_1 < 1$

Nota: En la tabla se muestran los dos casos que hay para los modelos móviles MA (p), de orden 1 y 2 con sus respectivas condiciones. "Análisis de series de tiempo", Hernández, S.2015. Adaptado de: https://www.cepal.org/sites/default/files/courses/files/01_2_arima.pdf.

Condiciones de verificación de estacionalidad e invertibilidad

Los coeficientes estimados deben cumplir condiciones de estacionalidad e invertibilidad.

- Un modelo (MA) es invertible si puede ser expresado en función de los rezagos de Z_t con pesos que disminuyen con el tiempo
- Un modelo (AR) es estacionario si depende cada vez menos de los valores del pasado. No es explosivo. (Sánchez Naranjo & García-Martos, 2012).

III. Modelos autorregresivo de media móvil o mixtos ARMA (p,q).

La notación ARMA (p, q) se refiere a un modelo con p términos autorregresivos y q términos de media móvil. Este modelo combina los modelos AR y MA.

$$Z_t = c + \phi_1 Z_{t-1} + \phi_2 Z_{t-2} + \dots + \phi_p Z_{t-p} + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \dots - \theta_q a_{t-q} + a_t \quad [6]$$

$$(1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p)Z_t = (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q)a_t, \quad a_t \sim N(0, \sigma_a^2) \quad [6,1]$$

Proceso ARMA (1,1)

$$Z_t = c + a_t + \phi Z_{t-1} - \theta a_{t-1}, \quad a_t \rightarrow N(0, \sigma_a^2) \quad [7]$$

Para tener en cuenta:

Los valores de θ y $\phi \neq 0$

Ventaja modelo ARMA

- La importancia del proceso ARMA reside en el hecho de que una serie de tiempo estacionaria puede ser a menudo descrita por un modelo **ARMA** que contenga menos parámetros que un proceso **MA** ó **AR** por sí solo.

Desventaja modelo ARMA

- Los modelos ARMA son de memoria corta. (Hernández, 2015).

Modelo ARIMA

En estadística y econometría, en particular en series temporales, un **modelo autorregresivo integrado de promedio móvil ARIMA** (acrónimo del inglés *Autoregressive Integrated Moving Average*) es un modelo estadístico que utiliza variaciones y regresiones de datos estadísticos con el fin de encontrar patrones para una predicción hacia el futuro. Se trata de un modelo dinámico de series temporales, es decir, las estimaciones futuras vienen explicadas por los datos del pasado y no por variables independientes.

Esta metodología ARIMA presenta el siguiente procedimiento propuesto:

Figura 1. Procedimiento etapas modelo ARIMA

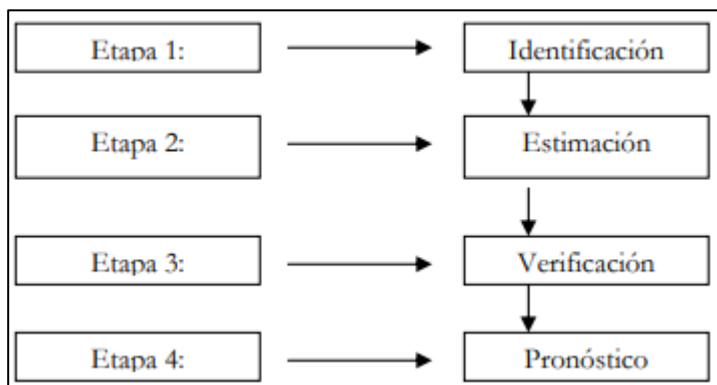
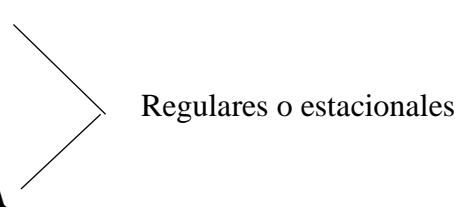


Figura 1. En el grafico se evidencian las etapas que se deben seguir en la elaboración de un modelo ARIMA con fines predictivos. Metodología box- Jenkins, Rosales, R.2008. Recuperado:https://economia.uniandes.edu.co/files/profesores/ramon_rosales_alvarez/docs/econometria2/Salidas%20y%20Ejercicios/EJC202220Metodologa20Box20-20Jenkins.pdf.

Notación general (Box Jenkins)

$$ARIMA \quad \underbrace{(p, d, q)}_{\substack{\text{Parte regular} \\ \text{o tendencia}}} \quad \underbrace{(P, D, Q)}_{\text{Parte estacional}}$$

$p, P = \#$ Parametros AR
 $d, D = \#$ Parametros I
 $q, Q = \#$ Parametros MA



Regulares o estacionales

Ejemplos:

MA(1) o ARIMA(0,0,1)(0,0,0)

AR(1) o ARIMA(1,0,0)(0,0,0)

MA(1) MA(2) o ARIMA(0,0,1)(0,0,1)

También denominados de Box y Jenkins por su origen, se construyen empíricamente a partir de la propia serie temporal observada y, básicamente, dependen de tres componentes subyacentes e inherentes al proceso. El término autorregresivo (AR), el integrado (I) y el de media móvil (MA). En la práctica, el procedimiento consiste en encontrar el orden (p) para el proceso autorregresivo, el orden (q) para el proceso de media móvil, y un nivel de diferenciación (d) que, en conjunto, permita construir el modelo que se ajuste mejor a la serie histórica de datos y que, además, pueda realizar predicciones de una manera certera. El proceso integrado d indica el grado de diferenciación que se requiere para que la serie sea estacionaria, condición indispensable en los modelos ARIMA.

(Rosales, Delgado, Vasquez, & Marino, 2008).

Modelos ARIMA para series de tiempo no estacionarias

Se dice que “Los procesos ARIMA proporcionan una generalización de esta clase, que incorpora una amplia gama de series no estacionarias, es decir, procesos que se reducen a procesos ARMA cuando se diferencian finitamente muchas veces”. (Brockwell & Davis, 2002).

Si d es un número entero no negativo, entonces $\{X_t\}$ es un proceso ARIMA (p, d, q) si $Y_t := (1 - B)^d X_t$ es un proceso ARMA causal (p, q) .

Esta definición significa que $\{X_t\}$ satisface una ecuación de diferencia de la forma:

$$\phi^*(B) X_t = \theta(B) Z_t, \{Z_t\} \sim WN(0, \sigma^2) \quad [8]$$

Donde $\phi(z)$ y $\theta(z)$ son polinomios de grado p y q , respectivamente, y $\phi(z) \neq 0$ para $|z| \leq 1$. El polinomio $\phi^*(z)$ tiene un orden cero d en $z = 1$. El proceso $\{X_t\}$ es estacionario si y solo si $d = 0$, en cuyo caso se reduce a un proceso ARMA (p, q) .

Note que si $d \geq 1$, podemos agregar una tendencia polinómica arbitraria de grado $(d - 1)$ a $\{X_t\}$ sin violar la ecuación de diferencia [8]. Los modelos ARIMA son, por lo tanto, útiles para representar datos con tendencia. Cabe señalar, sin embargo, que los procesos ARIMA también pueden ser apropiados para modelar series sin tendencia.

NOTA: tanto estacionarios ($d = 0$) como no estacionarios ($d > 0$). (Brockwell & Davis, 2002).

Casos especiales

- Ruido blanco (white noise):

a_t es un componente aleatorio que tiene media cero y varianza constante σ_a^2 . La historia no brinda ninguna información.

$$Z_t = a_t \text{ es para el modelo ARIMA } (0,0,0) \quad [9]$$

- **Camino aleatorio (random walk):**

Donde $Z_t - Z_{t-1} = a_t$, con a_t ruido blanco el mejor pronóstico de $t + 1$ es el valor observado en t .

$$Z_t = Z_{t-1} + a_t \text{ es para el modelo ARIMA (0,1,0) [10]}$$

Supuestos del modelo ARIMA

Estacionariedad de la serie

Media constante

$$E(Z_t) = E(Z_{t+m}) \text{ [11]}$$

Varianza constante

$$E(Z_{t-\mu})^2 = E(Z_{t+m} - \mu)^2 \text{ [12]}$$

Función de autocorrelación constante a través del tiempo

$$\phi_1 < 1$$

Criterios para verificar la estacionariedad

- Examinar el gráfico de la serie para evaluar si la media o la variancia cambian en el tiempo
- Examinar el correlograma de la serie para evaluar si las correlaciones se mueven rápidamente hacia cero
- Examinar los valores de los parámetros AR. En un modelo AR (1) la estacionariedad se da cuando $f < 1$.
- Pruebas de integración de Dickey-Fuller y Phillips-Perron

Invertibilidad del modelo

- Cuando los pesos de las observaciones pasadas disminuyen con el tiempo. Se consigue cuando $\theta_1 < 1$.

- Se puede verificar en el modelo ARMA, en la Tabla 6. *Casos modelo de medias móviles MA (q)* y en Tabla 5. *Casos modelo autorregresivos AR (p)* las condiciones de invertibilidad y estacionariedad.

Residuos ruido blanco

$$E(a_t) = 0 \text{ Media cero}$$

$$E(a_t^2) = \sigma^2 \text{ Varianza constante}$$

$$E(a_t, a_t^*) = 0 \text{ No autocorrelación}$$

- Se verifica la autocorrelación en los residuos
 - Bajo el supuesto de ruido blanco, las autocorrelaciones de los residuos deben ser cercanas a cero.
- Media cero
 - $H_0 = \text{media } (0)$ Se rechaza si el valor de $T \rightarrow 2$
 - Análisis visual del gráfico de los residuos.
- Varianza constante
 - Correlograma de los residuos al cuadrado
 - Prueba Q de las correlaciones al cuadrado
 - Análisis visual del gráfico de los residuos

Identificación de un modelo ARIMA

1. Haga la serie estacionaria:
 - Evalúe si se requiere alguna transformación para estabilizar la variancia. Utilice el gráfico de la serie.

- Si los datos son no estacionarios en la media aplicar una diferenciación. Utilice el gráfico de la serie y complemente con el correlograma. Si la serie tiene estacionalidad, aplicar la diferenciación estacional antes que la diferenciación regular.
- 2. Considere la parte *no estacional*. Examine las primeras correlaciones del correlograma (k) para determinar el modelo adecuado AR (p) y MA(q).
- 3. Considere la parte *estacional*. Examine el correlograma en los rezagos múltiplos de s y determine el modelo adecuado AR(P)s y MA(Q)s. (Hernández, 2015)

Ventajas modelo ARIMA

- Son buenos para la predicción en el corto plazo, debido a su capacidad de aprender de los cambios en la dinámica de la serie.
- Sirve como punto de referencia.
- Son baratos y rápidos de construir.

Desventajas modelo ARIMA

- Son pobres para predecir en momentos de cambios estructurales y puntos de giro.
- El horizonte de pronóstico es a veces muy corto.
- Menos eficiente en el uso de la información. (Hernández, 2015).

Modelo lineal dinámico

Modelos lineales dinámicos (MLD) o modelos de espacio de estado definen una clase muy general de modelos de series temporales no estacionarias. Los MLD pueden incluir términos para modelar tendencias, estacionalidad, covariables y componentes autorregresivos. Los objetivos principales son el pronóstico a corto plazo y la identificación de relaciones de las covariables con la variable respuesta. No nos centraremos tanto en conceptos como en autocorrelación o proceso estacionario.

Modelo Lineal Dinámico Normal. El MLD normal está caracterizado por la siguiente cuádrupla

$$(F, G, V, W)_t = (F_t, G_t, V_t, W_t) \quad [13]$$

Para cada tiempo t, donde

1. F_t es una matriz (n x r) conocida
2. G_t es una matriz (n x n) conocida
3. V_t es una matriz (r x r) de varianzas-covarianza conocida
4. W_t es una matriz (n x n) de varianzas-covarianza conocida

Esta cuádrupla define el modelo que relaciona Y_t con el vector de parámetros θ_t de (n x 1) en el tiempo t y la evolución de θ_t a través del tiempo según las siguientes ecuaciones

$$(Y_t|\theta_t) \sim N(F'_t \theta_t, V_t) \quad [13,1]$$

$$(\theta_t|\theta_{t-1}) \sim N(G_t \theta_{t-1}, W_t) \quad [13,2]$$

Este par de ecuaciones son condicionalmente implícitas sobre D_{t-1} , la información a priori disponible hasta el tiempo t. En particular incluye las matrices de varianza-covarianza V_t y W_t , las observaciones pasadas Y_{t-1}, Y_{t-2}, \dots , como también la información inicial D_0 . Una representación alternativa o equivalente de estas ecuaciones es:

- **Ecuación observacional** del modelo que define la distribución muestral de Y_t dado el vector de parámetros θ_t .

$$Y_t = F'_t \theta_t + v_t, \quad v_t \sim N(0, V_t) \quad [14]$$

Esto significa que, dado θ_t , Y_t es independiente de todas las demás observaciones y valores de parámetros y, en general, dado el presente, el futuro es independiente del pasado. Esta ecuación relaciona el vector de observaciones Y_t con el vector de parámetros θ_t a través de una

regresión lineal dinámica con una estructura de error normal multivariado que tiene una matriz de varianza covarianza observacional conocida, aunque posiblemente variable en el tiempo, V_t para el tiempo t .

- **Ecuación de evolución o del sistema**, define como evoluciona el vector de parámetros.

$$\boldsymbol{\theta}_t = \mathbf{G}_t \boldsymbol{\theta}_{t-1} + w_t, \quad w_t \sim N(0, \mathbf{W}_t) \quad [15]$$

En donde:

\mathbf{F}_t : Es la matriz diseño de valores conocidos de las variables independientes

\mathbf{G}_t : Matriz de evolución

$\boldsymbol{\theta}_t$: Es el vector de parámetros o de estados

\mathbf{W}_t : Matriz de varianza $\boldsymbol{\theta}_t$

$\boldsymbol{\mu}_t = \mathbf{F}'_t \boldsymbol{\theta}_t$: Es la respuesta media de la variable respuesta

v_t : Es el error observacional (Bermúdez, 2017)

Casos particulares

Filtro de Kalman

- **Modelo del sistema**

Describe la evolución en el tiempo de la cantidad que se desea estimar, esta cantidad es expresada mediante un vector de estado $\chi_k \in R^n$. La transición entre estados ($\chi_k \rightarrow \chi_{k-1}$), se caracteriza por la matriz de transición A_k , y la adición de un ruido gaussiano w_k que tiene media cero y una matriz de covarianza Q . Todo esto se representa mediante una ecuación en diferencias lineal estocástica de la siguiente forma:

$$\chi_k = A_{k-1} \chi_{k-1} + B_k u_k + w_{k-1} \quad [16]$$

$$\chi_{k+1} = A_k \chi_k + B_k u_k + w_k \quad [16,1]$$

La matriz A $n \times n$ de la ecuación en diferencias [16,1] relaciona el estado del paso previo $k - 1$ con el estado en el paso actual k en ausencia de una función controlante o una perturbación de proceso. Note que en la práctica la matriz A podría cambiar con cada paso de tiempo, pero aquí se asume como constante.

También se puede observar a u_k , que se define como la entrada del sistema. La medición de esta entrada es z_k , que se relaciona con el vector de estado x_k , por medio de la matriz de medición H_k , esto se muestra en el siguiente paso.

- **Modelo de la medición**

Relaciona el vector de medida $z_k \in R^m$ con el estado del sistema x_k a través de la matriz de medición H_k y la adición de un ruido gaussiano v_k con matriz de covarianza R .

$$z_k = H_k x_k + v_k \quad [17]$$

La matriz B $n \times l$ relaciona el control opcional de entrada $u \in R^l$ para el estado x . la matriz H $n \times m$ en la ecuación de medición [17] relaciona el estado con la medición z_k . En la práctica H podría cambiar con cada paso de tiempo, pero se asume constante.

- **Modelo a priori**

Aquí se describe el conocimiento previo del vector de estado en el instante inicial $x(0)$, en cuanto al valor esperado y a su matriz de covarianza $P(0)$. Con respecto a las variables aleatorias w_k y v_k representan el ruido del proceso y de la medición respectivamente. Se asume que son independientes entre ellas, que son ruido blanco y que tienen distribución de probabilidad normal, y por lo tanto cumplen:

$$E\{w_k\} = E\{v_k\} = 0 \quad [18]$$

$$E\{w_k v_k^T\} = E\{w_k^T v_k\} = 0 \quad [18,1]$$

$$E\{w_k v_k^T\} = Q \quad [18,2]$$

$$E\{v_k v_k^T\} = R \quad [18,3]$$

$$E\{w_k w_j^T\} = 0, \forall k \neq j \text{ y } E\{v_k v_k^T\} = 0, \forall k \neq j \quad [18,4]$$

En la practica las matrices de covarianza de los ruidos del proceso Q y de la medicion R, podrian camiar con el paso del tirmpo o la medicion, de qualqueir forma se asumen que son constantes. El ruido del sistema puede considerarse que se genera en su interior o bien que se introduce a la entrada del sistema, y el ruido de la medicion es el error que se comete al medir la salida, es decir, sera el error que cometen los ensores al medir.

Ventajas Filtro de Kalman

- El filtro se distingue por su habilidad para predecir el estado de un modelo en el pasado, presente y futuro, aun cuando la naturaleza precisa del sistema modelado es desconocida. La modelación dinámica de un sistema es una de las características claves que distingue el método Kalman. Los modelos lineales dinámicos son modelos con una transición lineal desde un periodo al próximo, los cuales pueden describir la mayoría de los modelos comúnmente utilizados en trabajos de series de tiempo.
- Cuando se desarrolla para modelos autorregresivos los resultados están condicionados a la información pasada de la variable en cuestión. En este sentido el pronóstico con series de tiempo representa la fuerza o inercia que actualmente presenta el sistema y son eficientes únicamente en el corto plazo. (Prado Obando, 2005).

Desventajas filtro de Kalman

- Requiere condiciones iniciales de la media y la varianza del vector estado para iniciar el algoritmo recursivo, sobre la forma de determinar estas condiciones no existe consenso. (Pillajo & Sierra, 2014).

Modelos lineales dinámicos generalizados (MLDG)

Según lo analizado en (Ravines, 2007); Los modelos lineales dinámicos generalizados son una extensión de los modelos lineales dinámicos normales para la familia exponencial, tienen como base los modelos lineales generalizados; Se supone que la distribución de las observaciones es miembro de la familia exponencial, donde η_t es el parámetro natural y $\phi_t = V_t^{-1}$ es la precisión.

$$P(Y_t|\eta_t) = \exp\{\phi_t[Y_t\eta_t - a(\eta_t)]\} b(Y_t, V_t) \quad [19]$$

En el caso dinámico, η_t tiene una relación lineal con el vector de estados θ_t y la ecuación del sistema es igual al caso normal.

Un modelo lineal dinámico generalizado es especificado por:

Ecuación de Observación:

$$P(Y_t|\eta_t) = \exp\{\phi_t[Y_t\eta_t - a(\eta_t)]\} b(Y_t, V_t) \quad [20]$$

Ecuación de la media:

$$\mu_t = E(Y_t|\eta_t) = a'(\eta_t) \quad [21]$$

Función de ligación:

$$g(\mu_t) = F'\theta_t \quad [22]$$

Ecuación de sistema:

$$\theta_t = G_t\theta_{t-1} + w_t \quad [23]$$

Error del sistema:

$$w_t \sim (0, W_t) \quad [24]$$

Información a priori:

$$\theta_t \sim (a_1, R_1) \quad [25].$$

Se dice que “Cuando la serie de tiempo de interés está representada por una variable con soporte acotado o discreto, es necesario recurrir a los modelos de regresión lineal generalizados dinámicos”. (BARAJAS, 2019).

Ventajas Modelos lineales dinámicos generalizadas (MLDG)

- Los modelos lineales dinámicos ofrecen mucha más flexibilidad en el tratamiento de series temporales no estacionarias o en el modelado de cambios estructurales, y con frecuencia son más fácilmente interpretables; y una clase más general de modelos dinámicos extienden el análisis a sistemas dinámicos no gaussianos y no lineales. (Ravines, 2007).

Caso de estudio

Como caso de aplicación para el proceso de la metodología propuesta se utilizara y analizara la situación aeroportuaria de Colombia específicamente para los nueve aeropuertos a estudiar de las ciudades (San Andrés, Barranquilla, Bucaramanga, Cartagena, Medellín, Rio Negro, Pereira, Cali y Santa Marta).

Tráfico aéreo en los aeropuertos regionales de Colombia

El transporte aéreo es considerado uno de los más significativos servicios de la economía colombiana, por dos factores importantes que son, en primera instancia por la topografía del país que en ciertas áreas dificulta la operación de otro tipo de transporte, mientras que este garantiza la fácil conectividad entre regiones que se encuentra retiradas o tienen difícil acceso; en segunda instancia permite la fácil conexión con la economía mundial, garantizando que se aumente el desarrollo económico nacional, cuanto más conectado esté un país por aire, mayor es su capacidad para aprovechar los beneficios económicos y sociales asociados con el transporte aéreo.

Análisis del transporte aéreo en Colombia

Indicadores transporte aéreo

Se determinan tres pautas que marcan el antes y el después en el desarrollo del transporte aéreo Colombiano según lo analizado por (Olariaga, 2017) estos son:

- El primero, la liberalización del sector del transporte aéreo, iniciada en el año 1991.
- El segundo, la norma fijada por el gobierno nacional, a través de la Dirección Nacional de Planeación, en el año 1994 (DNP, 1994), la cual establece el reordenamiento institucional y de financiamiento del sector aeronáutico, así como el plan de expansión del sistema aeroportuario, lo que se derivó, entre otras acciones, en el inicio de un programa de concesión de varios aeropuertos de la red.
- El tercer hito relevante es la primera definición de un importante paquete de políticas públicas específicas para el sector del transporte aéreo colombiano en el plan nacional de desarrollo 2006–2010 (DNP, 2006), y el cual reforzaba la política de privatizaciones ya en curso que va de la mano con la 4ta generación de concesiones que empieza en el 2014.

Según, lo antes mencionado, se empieza a evaluar un primer indicador del sector:

- El crecimiento de tráfico de pasajeros totales (nacionales más internacionales) entre los años 1991 y 2015 fue del 500% (Aerocivil, 2016a, 2016e).
- Por otro lado, la política de privatización persiguió el objetivo de alcanzar una gran cobertura geográfica, con lo que además de los grandes aeropuertos se privatizaron también aeropuertos periféricos o situados en zonas remotas de la geografía colombiana, contribuyendo con ello, además de la propia conectividad, al desarrollo socio–económicos de dichas regiones (Díaz Olariaga y Carvajal, 2016).
- La liberalización del sector del transporte aéreo (iniciada en 1991) representó el despegue de la industria, que venía de una década de crecimiento casi nulo. La 1ra y 2da generación de concesiones, en los años 1996 y 2000

respectivamente, tuvieron un moderado impacto en el crecimiento del transporte aéreo. Sin embargo, es a partir del año 2004 cuando empieza un relevante crecimiento del sector del transporte aéreo, cuyo impulso lo da la privatización del principal aeropuerto del país, Bogotá–El Dorado (BOG) (año 2006), y posteriormente la 3ra generación de concesiones aeroportuarias (que finalizó en el año 2010) y dio paso a la 4ta generación.

Figura 2. Desarrollo de pasajeros totales transportados en Colombia

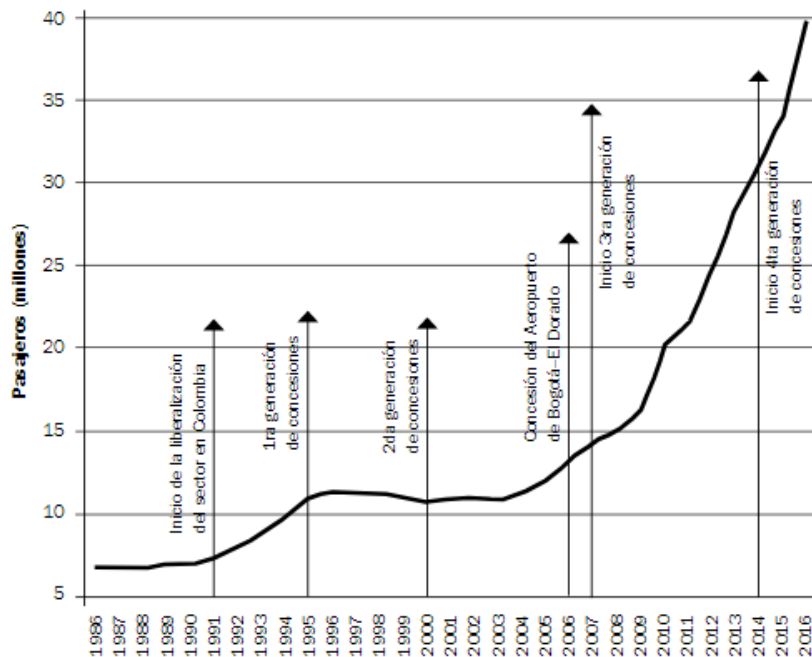


Figura 2. Grafica de desarrollo de pasajeros totales transportados en Colombia (1986-2016). Políticas de privatización de aeropuertos. El caso de Colombia. Diaz, O.21 de junio de 2017. Recuperado de <https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar/publicaciones/index.php/DocumentosyAportes/article/view/7093/10334>.

- El dinámico crecimiento del transporte aéreo colombiano registrado en la última década también se ve reflejado en los indicadores internacionales. En el periodo 2005-2013 la media anual de crecimiento de tráfico total de pasajeros en Colombia ha sido del 10,5%, más del doble de la media mundial y dos tercios superior a la media de la región de

Latinoamérica y Caribe (Aerocivil, 2016e; ACI, 2014, 2010, 2008, 2007). (Olariaga, 2017).

Localización y caracterización de aeropuertos a estudiar

Para enfatizar se mencionaran los nueve aeropuertos regionales o también llamados secundarios de Colombia seleccionados para el análisis que tienen la característica de conformar el **TOP TEN** de la red nacional de aeropuertos (por n° de pasajeros transportados anual) estos son:

Tabla 3. Nueve aeropuertos regionales de Colombia

N°	Aeropuerto	Ciudad	Codigo	
			IATA	OACI
1	I. Olaya Herrera	Medellín	EOH	SKMD
2	I. José María Córdoba	Rionegro	MDE	SKRG
3	I. Emersto Cortisoz	Barranquilla	BAQ	SKBQ
4	I. Rafael Núñez	Cartagena	CTG	SKCG
5	I. Simón Bolívar	Santa Marta	SMR	SKSM
6	I. Gustavo Rojas Pinilla	San Andrés	ADZ	SKSP
7	I. Palonegro	Bucaramanga	BGA	SKBG
8	I. Alfonso Bonilla Aragón	Cali	CLO	SKCL
9	I. Matecaña	Pereira	PEI	SKPE

Nota: En la tabla se muestran los nueve aeropuertos regionales de Colombia a estudiar con su respectivo código IATA (código que determina el nombre del aeródromo) y OACI (código que identifica el aeródromo). Base de datos, Millán, E.2019. Adaptado de: Aerocivil códigos.

En la tabla anterior solo se mencionan los nueve aeropuertos regionales del TOP TEN, el décimo aeropuerto y principal del listado es el principal aeropuerto del país El Dorado de Bogotá el cual cabe recalcar no entra en este estudio por no ser secundario sino primario y se hace alusión de que ya existe un trabajo de prognosis titulado “Prognosis de tráfico en el Aeropuerto de Bogotá-El Dorado y análisis de la relación demanda-capacidad” (Ramos Quintín & Cárdenas Jiménez, 2016) para este aeropuerto por tal razón no se hace hincapié en el.

Se identificará la ubicación de los aeropuertos en el mapa de Colombia.

Figura 3. Ubicación geográfica aeropuertos regionales de Colombia a analizar

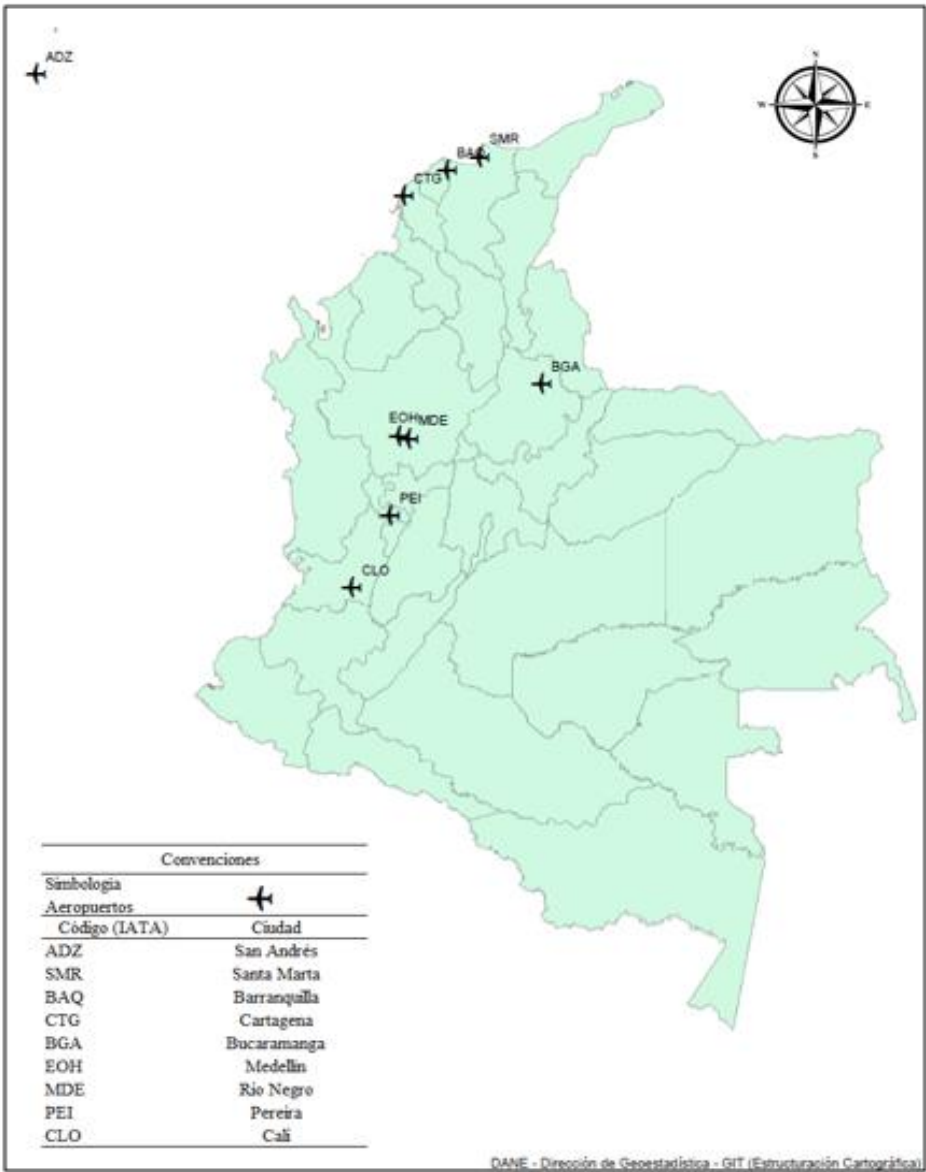


Figura 3. Mapa Colombia. DANE. Millán, E. 23 de abril de 2019.[Mapa Geográfico]. Elaborado con: software ArcGIS.

Se parte de que los nueve aeropuertos antes mencionados son del grupo de Aeródromos internacionales por los siguientes parámetros establecidos por la Aerocivil:

- El Aeropuerto Internacional es el designado por la UAEAC, como de entrada o salida para el tráfico aéreo internacional y en él se llevarán a cabo los trámites de aduana, inmigración o emigración, sanidad pública, reglamentación veterinaria y fitosanitaria y procedimientos similares.

Además de las instalaciones y servicios necesarios para los controles de aduana, migración y sanitarios, de que trata el párrafo anterior; todo aeropuerto internacional, deberá contar, con servicios de tránsito aéreo, telecomunicaciones aeronáuticas, información aeronáutica, meteorología aeronáutica, ayudas a la navegación, salvamento y extinción de incendios, búsqueda y salvamento, despacho y servicios de escala, pista con número de clave de 3 ó 4, calles de rodaje, plataforma para parqueo de aeronaves, iluminación y señalización, talleres de mantenimiento aeronáutico, aprovisionamiento de combustible de aviación, terminales para pasajeros, equipajes y carga, así como facilidades de transporte terrestre y conectividad con los centros urbanos, todo ello durante el tiempo en que esté operando y contar con el personal calificado necesario para atender todos y cada uno de dichos servicios.

Tabla 4. Clave de aeródromo para aeropuertos internacionales

Nº de clave	Longitud de campo de clave referencia del avión	Letra de clave	Envergadura
3	Desde 1.200 m hasta 1.800 m (exclusivo)	C	Desde 24-36 m (exclusivo)
		D	Desde 36-52 m (exclusivo)
4	Desde 1.800 m en adelante	E	Desde 52-65 m (exclusivo)
		F	Desde 65-80 m (exclusivo)

Nota: Se mencionan los principales parámetros de los tipos de aviones que operaran en los aeródromos internacionales, Aerocivil, 2014 Recuperado de:

<http://www.aerocivil.gov.co/autoridad-de-la-aviacioncivil/reglamentacion/RAC/RAC%20%202014%20%20Aer%C3%B3dromos,%20%20Aeropuertos%20y%20Helipuertos.pdf>

- La UAEAC podrá presentar estos aeródromos a la Organización de Aviación Civil Internacional para que formen parte del Plan de Navegación Aérea de la Región Caribe y Suramérica, en cuyo caso, se deberá cumplir con las exigencias que imponga dicho plan para cada uno de los aeropuertos allí establecidos.
- La UAEAC mediante un acto administrativo dispondrá la clasificación de cada uno de estos aeródromos, incluyendo aquellos que prestan servicios transfronterizos. Los demás aeropuertos civiles ubicados en la República de Colombia, son nacionales. (Aerocivil, 2014).

Según lo antes mencionado se verifica si los nueve aeropuertos en estudio cumplen con los requerimientos de la Aerocivil para ser catalogados como aeródromos internacionales, se evidencia en el Anexo 1, el cual nos muestra explícitamente cada uno y corrobora que si cumplen.

Concesión y privatización

Una serie de acontecimientos en el sector del transporte aéreo en las décadas de 1980 y 1990 contribuyeron a impulsar la privatización de aeropuertos en muchos países (Freathy y O'Connell, 1998). En primer lugar, la demanda de transporte aéreo continuó creciendo y se preveía que lo seguiría haciendo en el futuro. En algunos mercados, especialmente en Europa y América latina, la desregulación fomentó el crecimiento y condujo a la conclusión de que la capacidad aeroportuaria existente no podría hacer frente a este crecimiento. La privatización de los aeropuertos fue vista como una forma de inyectar capital (privado) adicional al sistema aeroportuario para pagar la inversión futura necesaria. Por otra parte, una de las principales fuentes tradicionales de financiamiento aeroportuario, es decir, los fondos del sector público, se hizo cada vez más escasa en la

coyuntura económica mundial de la época, ya que los gobiernos se esforzaban por reducir sus gastos en el sector público (de Neufville y Odoni, 2013; Winston y de Rus, 2008).

Se podría afirmar que la privatización del aeropuerto puede verse como una etapa evolutiva del mismo. Los aeropuertos han evolucionado desde empresas de servicio público a empresas comerciales, y la privatización puede considerarse como una comercialización llevada a sus límites. Al mismo tiempo, los cambios en la industria del transporte aéreo han tenido inevitablemente un gran impacto en el sector aeroportuario. La transformación de una industria de aviación predominantemente pública y controlada por el estado a un negocio competitivo global con mucha más libertad comercial ha obligado a muchos aeropuertos a tener una perspectiva mucho más centrada en el cliente (Forsyth et al., 2010). (Olariaga, 2017).

De lo anterior se hace énfasis en las concesiones y las pertinentes generaciones en que se privatizan los aeropuertos a estudiar que fueron:

1ra generación de concesiones: La considerada primera generación de concesiones aeroportuarias ocurre en 1995 cuando se adjudica el contrato para la operación y administración del Aeropuerto Rafael Núñez de la ciudad de Cartagena de Indias (CTG) al consorcio liderado por Schiphol Management Services, por 15 años de contrato de concesión. La operación del aeropuerto estuvo a cargo de la firma holandesa hasta junio de 1998, fecha en la cual Aerocivil aprobó la cesión del contrato de administración del aeropuerto a la Sociedad Aeroportuaria de la Costa (SACSA, S.A.). A esta generación también pertenece la adjudicación, en 1996, y por un periodo de 15 años, del aeropuerto Ernesto Cortissoz de la ciudad de Barranquilla (BAQ), que se realizó al consorcio Aeropuertos del Caribe (ACSA, S.A.); el aeropuerto se entregó al operador en febrero de 1997.

2da generación de concesiones: En el año 2000 se entrega en concesión el aeropuerto Alfonso Bonilla Aragón (CLO), que sirve a la ciudad de Cali, a la Sociedad Aerocali S.A. de entre cuyas responsabilidades se encontraba la remodelación, manejo y operación del aeropuerto por un periodo de 20 años.

3ra generación de concesiones: Esta generación fue la más grande en relación al número de aeropuertos concesionados. En primer lugar se concesionaron los dos aeropuertos insulares de Colombia, es decir, el de las Islas de San Andrés y Providencia, al operador CASYP, S.A., por un periodo de 20 años, los aeropuertos se entregaron al operador en el año 2007. En segundo lugar se adjudica en concesión a la Operadora de Aeropuertos Centro Norte (Airplan, S.A.) un grupo de seis aeropuertos del centro y norte del país: Olaya Herrera (Medellín) (EOH), José María Córdova (Rionegro) (MDE), El Caraño (Quibdó) (UIB), Los Garzones (Montería) (MTR), Antonio Roldán Betancourt (Carepa) (APO) y Las Brujas (Corozal) (CZU), por un periodo de 25 años, la entrega de los aeropuertos se formalizó en el año 2008. Y en tercer lugar, en el año 2010 se entrega en concesión, por un periodo de 15 años, un grupo de seis aeropuertos del noreste del país: Camilo Daza (Cúcuta) (CUC), Palonegro (Bucaramanga) (BGA), Yariguíes (Barrancabermeja) (EJA), Alfonso López (Valledupar) (VUP), Simón Bolívar (Santa Marta) (SMR) y Almirante Padilla (Riohacha) (RCH), al operador Aeropuertos de Oriente, S.A.S. En esta tercera generación de concesiones se mantienen y mejoran las condiciones de la segunda generación de concesiones.

4ta generación de concesiones: La cuarta generación de concesiones dio inicio el 30 de diciembre de 2014, con la (segunda) concesión del Aeropuerto Internacional de Barranquilla–Ernesto Cortissoz a la empresa Aeropuertos Colombia SPV, y con el nombre comercial como operador de Grupo Aeroportuario del Caribe. La autoridad pública hizo

entrega del aeropuerto al nuevo concesionario en mayo de 2015. El periodo de concesión es de 15 años, y la inversión prevista para la ampliación y modernización (actualmente en curso y prevista a finalizar en el 2018) del aeropuerto es de USD 135 millones (constantes de 2013) (ANI, 2016b). La experiencia adquirida por la autoridad pública en los anteriores procesos de concesión ayudó a formular un contrato mucho menos ambiguo y más exigente en cuanto a las condiciones de cumplimiento. (Olariaga, 2017).

Se determina según lo analizado por (Ramos Quintín & Cárdenas Jiménez, 2016), que desde mediados de la década de los noventa, y en cuatro fases temporales, denominadas generaciones, el gobierno colombiano, a través Aerocivil, entregó en concesión varios aeropuertos del país, un total de 18, los más grandes e importantes de los que administra la autoridad pública aeronáutica con el fin de obtener una mejor administración, modernización y expansión, operación, explotación comercial y mantenimiento de las terminales aéreas de mayor uso. Bajo el objetivo planteado de las concesiones aeroportuarias del país, la empresa, sociedad, consorcio o ente concesionario de los aeropuertos se desempeña únicamente como administrador del mismo.

Los datos de los nueve aeropuertos con sus concesiones se relacionan en la Tabla 5.

Tabla 5. Aeropuertos regionales Colombianos analizados concesionados

Concesión	Aeropuertos	Ciudad	Inicio-Fin de concesión
Airplan, S.A.	José María Córdoba Olaya Herrera	Rionegro Medellín	2007-2032
AeroCali, S.A.	Alfonso Bonilla Aragón	Cali	2000-2020
SACSA, S.A.	Rafael Núñez	Cartagena	2010-2024
CASYP, S.A.	Gustavo Rojas Pinilla	San Andrés	2007-2027
Aerop. De Oriente, S.A.S.	Palonegro Simon Bolívar	Bucaramanga Santa Marta	2010-2025
Opam Aeropuertos Colombia SPV	Matecaña Ernesto Cortissoz	Pereira Barranquilla	2017 2015-2030

Nota: En la tabla se confirma que los nueve aeropuertos analizados se encuentran concesionados hasta la actualidad (2019), se mencionan las empresas privadas que concesionan cada aeropuerto y el periodo de concesión de cada uno. Aeropuertos concesionados periodo, Aerocivil..Adaptado de: <https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar/publicaciones>.

Metodología

La metodología adoptada para el desarrollo del proyecto se ejecutará siguiendo los siguientes parámetros:

Inicialmente se analizarán los antecedentes de los nueve aeropuertos regionales para determinar qué factores o casos alternos pueden generar afectaciones en los resultados finales, se analizarán las series originales del histórico de datos que se maneja 40 años (1979-2018), determinando la variable a implementar que en este caso es la aeronáutica número de pasajeros (nacionales- internacionales), posterior se toma como apoyo los tipos de modelos econométricos analizados en el ítem de econometría, se determina la utilización de dos tipos de modelos que se ajustan a dos objetivos similares el primero es que los dos modelos manejan series no estacionales y el segundo que es poder predecir futuros valores a corto plazo (5 años).

- Modelo ARIMA
- Modelo Lineal Dinámico

Para el análisis de la base de datos se implementarán dos tipos de programas R y Eviews los cuales permitirán no solo el desarrollo de los pronósticos, si no también permitirán analizar y comparar la fiabilidad en los resultados arrojados por cada uno.

Datos

A la hora de querer realizar una prognosis o pronóstico de demanda de transporte aéreo se implementaran en este caso modelos econométricos apoyados en una variable de transporte aéreo que son el número de pasajeros nacionales e internacionales de los aeropuertos a estudiar.

Tabla 6. Principales datos para el cálculo de las proyecciones para los nueve aeropuertos regionales colombianos

Nº	Aeropuerto	Pasajeros	Historico de datos
1	Medellin		
2	Rionegro		
3	Barranquilla		
4	Cartagena	Nacionales - Internacionales	1979-2018 (40 años)
5	Santa Marta		
6	San Andrés		
7	Bucaramanga		
8	Cali		
9	Pereira		

Nota: se mencionan los datos necesarios para el cálculo de las proyecciones en los nueve aeropuertos regionales colombianos. Base de datos Aerocivil. 30 de agosto de 2019. Adaptado de: Aerocivil.

Poseer una base de datos verídica de los nueve aeropuertos a analizar es muy importante para garantizar resultados confiables y de los cuales se pueda hacer uso; los datos suministrados de transporte aéreo para el desarrollo de este trabajo fueron adquiridos de la Aeronáutica Civil de Colombia. El histórico de la base de datos cubre un periodo de 40 años (1979-2018) el cual no es ideal pero permitirá realizar un pronóstico a corto plazo (5 años), (4años) y a muy corto plazo (3 años), para analizar cuál es el pronóstico ideal.

Resultados y análisis

Como se mencionó anteriormente se implementaron dos tipos de modelos econométricos para realizar los respectivos pronósticos, en primera instancia se analizara el modelo ARIMA y en segunda el modelo lineal dinámico (MLD) de la siguiente forma.

Observaciones y comentarios para tener en cuenta en los análisis y posibles resultados

En el análisis de los aeropuertos se detectaron unos casos particulares a tener en cuenta los cuales juegan un papel importante a la hora de analizar y evaluar los resultados arrojados por los pronósticos en cada modelo, estos casos son los siguientes:

Casos particulares

- Aeropuerto internacional Olaya Herrera de Medellín

Para los años setenta (1970), el aeropuerto presentaba una saturación y algunas limitaciones lo cual generó la necesidad de un nuevo lugar de mayor tamaño y capacidad que supliría y tomara la mayor parte de operaciones y las trasladara a la nueva edificación; el nuevo aeropuerto José María Córdoba fue inaugurado en 1985 y como consecuencia notoria las operaciones desde el Olaya Herrera se redujeron a casi cero, este aeropuerto capturo como se mencionó anteriormente todo el tráfico y rompió la serie de tiempo como se observa en la serie original.

- Aeropuerto internacional Ernesto Cortissoz de Barranquilla

Se tiene que tener en cuenta la segunda etapa cuando el aeropuerto entra en una segunda concesión en la 4ta generación de concesiones en el año 2015 la cual tenía como objetivo mejorar las condiciones de infraestructura, pero es notorio en los resultados obtenidos que la demanda de pasajeros empieza a decrecer en el año 2016 y se dice que “Fue concesionado finalizando 2014 y

estará en proceso de ampliación y remodelación durante 2015, 2016 y parte de 2017, lo que puede afectar a su operatividad normal.” (Diaz Olariaga, Girón Amaya , & Mora Camino, 2017).

- Aeropuerto Rafael Núñez de Cartagena y Aeropuerto Alfonso Bonilla Aragón Cali

Estos aeropuertos se caracterizaron por presentar irregularidades en las políticas tarifarias aeronáuticas muy altas las cuales fueron corregidas y este aspecto afecto la demanda notoriamente, se dice que “La autorregulación de las tarifas se hace precisamente con base en la oferta y la demanda. Se realiza dentro de ese modelo de techo y piso que presentan las empresas a la Aerocivil. Así es la política aerocomercial, así es como funciona en ese mercado”. (Colprensa, 2017).

Casos generales

- Huelga de conglomerado de Aerolíneas Avianca Holdings, y el grupo de pilotos afiliado a la Asociación Colombiana de Aviadores Civiles (Acdac) en el año 2017

Este paro fue ocasionado por el principal operador Avianca, los cuales generaron con su huelga la cancelación de 10.000 vuelos en el año 2017, se dice “que más de 358 mil pasajeros resultaron afectados y llegaron a cancelar 8109 aproximadamente “. (Morales, 2017); Que trajo como consecuencias un paro de 57 días que afecto el tráfico y la afectación de las series de tiempo para todos los aeropuertos de Colombia, pero no se sabe en cuales exactamente se presentaron más afectaciones que en otros.

- El no disponer de un histórico de datos ideal, es necesario disponer de 15-20 años mas pero la Aerocivil no dispone de estos. (Diaz Olariaga, Girón Amaya , & Mora Camino, 2017).

Resultados y análisis del modelo ARIMA

Como se menciona en la parte de marco conceptual para el análisis de las series de cada aeropuerto a estudiar se deben realizar unos pasos que ayudaran a adaptarlas para encontrar el modelo que se busca, el análisis se divide en pasajeros nacionales y luego en pasajeros internacionales de cada aeropuerto.

Se analiza si la serie tiene tendencia si es estacionario o no estacionario con la gráfica inicial; el Modelo ARIMA para ser ejecutado necesita que sus series pasen de ser no estacionarias a estacionarias para poder adaptarlas al modelo, y el paso siguiente para transformarlas es agregándoles o haciéndoles una diferencia o máximo dos a la serie, cabe recalcar que si llegara a necesitar más de dos diferencias la serie se daña, el mismo modelo se apoya con pruebas de hipótesis en este caso pruebas de raíz unitaria (Augmneted Dickey-Fuller) las cuales se determinan con el nivel significativo asignado que en este caso es del 10% (0,1), el cual se propone para tener un parámetro de estacionariedad y para buscar el modelo apropiado.

Resultados y análisis pasajeros nacionales Modelo ARIMA

En el análisis de cada serie se realizaron una o máximo dos diferenciaciones para convertir la serie en estacionaria y así posteriormente buscar el modelo con ayuda del correlograma y los valores de las barras de la correlación parcial (Partial correlation), estos valores determinan el número de rezagos atrás que se necesitan para construir el modelo que se obtuvo para cada aeropuerto.

Aeropuerto internacional Gustavo Rojas Pinilla - San Andrés (ADZ)

Esta serie solo necesito una diferenciación para volverla estacionaria y poder así determinar el siguiente modelo

Figura 4. Modelo Eviews-Aeropuerto ADZ

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
AR(1)	0.413811	0.157238	2.631754	0.0123
SIGMASQ	1.06E+10	1.32E+09	8.050933	0.0000

Figura 4. En el grafico se muestra el modelo obtenido en el software Eviews. Programa Eviews. 02 de agosto de 2019. [Imagen]. Recuperado de: Eviews 9.

El modelo es un AR(1), se determinó verificando con el nivel de significancia que se asignó el cual es 10% (0,1), el valor de Akaike 26,03282 y el valor de probabilidad arrojado fue de 0,0123 el cual cumple con el valor comparativo asignado, de esta figura también se toma el valor del coeficiente para determinar el pronóstico.

Luego de haber obtenido el modelo, se muestran los pronósticos a (5 años) con su respectiva grafica de proyecciones; se decide realizar un análisis adicional a corto plazo (3 años) para perfilar el resultado de los pronósticos por la carencia de datos, esto se realiza como un apoyo en los análisis.

Tabla 7. Proyecciones de Pasajeros Nacionales Aeropuerto ADZ a 5 años

ADZ	
Año	Pax Nacional
2018	2115377
2019	2056164
2020	2031660
2021	2021521
2022	2017325
2023	2015588

Nota: En la tabla se muestran los pronósticos calculados para el aeropuerto ADZ. Proyecciones, Millán, E. 2019. Recuperado de: Excel.

Figura 5. Proyección Pasajeros Nacionales Aeropuerto (ADZ) a 5 años

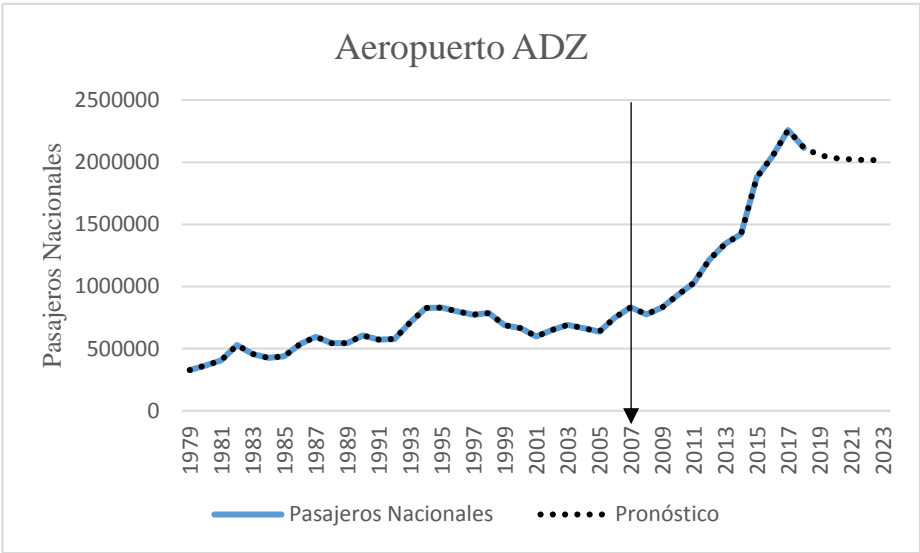


Figura 5. En el grafico se muestra la proyección de pasajeros entre el periodo de estudio de (2019-2023). Millán, E. 2019. Recuperado de: Excel.

—▶ Privatización aeropuerto: Concesión (2007)

Tabla 8. Proyecciones de Pasajeros Nacionales Aeropuerto ADZ a 3 años

ADZ	
Año	Pax Nacional
2018	2115377
2019	2056164
2020	2031660
2021	2021521

Nota: En la tabla se muestran los pronósticos calculados para el aeropuerto ADZ. Proyecciones, Millán, E. 2019. Recuperado de: Excel.

Figura 6. Proyección Pasajeros Nacionales Aeropuerto (ADZ) a 3 años

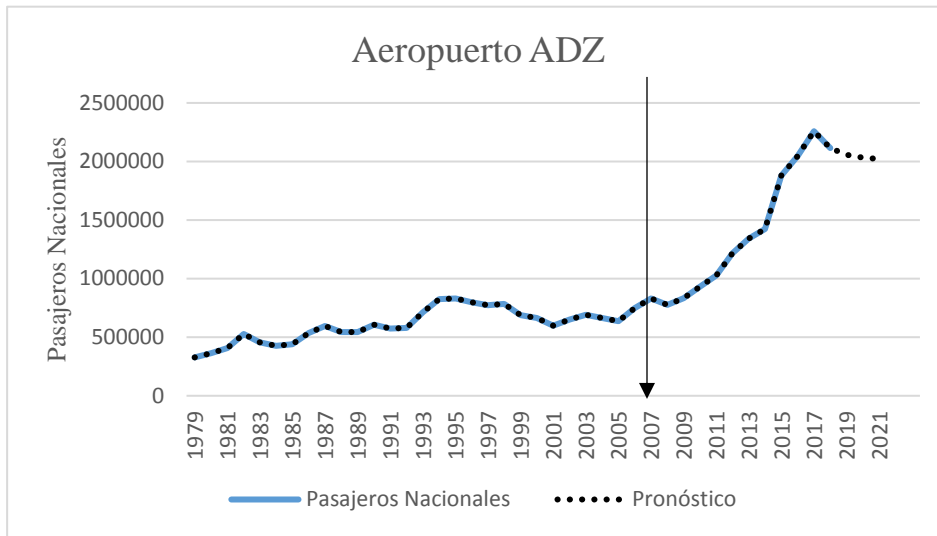


Figura 6. En el grafico se muestra la proyección de pasajeros entre el periodo de estudio de (2019-2021). Millán, E. 2019. Recuperado de: Excel.

—▶ Privatización aeropuerto: Concesión (2007)

En la Figura 5 y 6, se observa un crecimiento positivo y que se mantiene continuó en el periodo de tiempo analizado, cabe recalcar que este aeropuerto desde que el momento en que se privatizo en el año 2007 en la 3ra generación de concesiones, empezó a mostrar un crecimiento en la demanda de pasajeros muy notoria como se evidencia en la figura.

Aeropuerto internacional Ernesto Cortissoz – Barranquilla (BAQ)

Esta serie solo necesito una diferenciación para volverla estacionaria y poder así determinar el siguiente modelo.

Figura 7. Modelo Eviews-Aeropuerto BAQ

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
AR(1)	0.422672	0.122808	3.441736	0.0015
AR(2)	0.235037	0.117521	1.999954	0.0535
AR(6)	0.397847	0.206359	1.927941	0.0622
AR(7)	-0.629385	0.191644	-3.284140	0.0024
SIGMASQ	8.52E+09	2.33E+09	3.654063	0.0009

Figura 7. En el grafico se muestra el modelo obtenido en el software Eviews. Programa Eviews. 02 de agosto de 2019. [Imagen]. Recuperado de: Eviews 9.

El modelo es un AR (1) AR (2) AR (6) AR (7), se determinó verificando con el nivel de significancia que se asignó el cual es 10% (0,1), el valor de Akaike 26,07784 y los valores de probabilidad arrojados fueron 0,0015, 0,0535, 0,0622, 0,0024, los cuales cumplen con el valor comparativo asignado, de esta figura también se toman los valores de los coeficientes para determinar el pronóstico.

Luego de haber obtenido el modelo, se muestran los pronósticos a (5 años) con su respectiva grafica de proyecciones; se decide realizar un análisis adicional a corto plazo (3 años) para perfilar el resultado de los pronósticos por la carencia de datos, esto se realiza como un apoyo en los análisis.

Tabla 9. Proyecciones de Pasajeros Nacionales Aeropuerto BAQ a 5 años.

BAQ	
Año	Pax Nacional
2018	2317543
2019	2162083
2020	2004387
2021	1913880
2022	1675655
2023	1346208

Nota: En la tabla se muestran los pronósticos calculados para el aeropuerto BAQ. Proyecciones, Millán, E. 2019. Recuperado de: Excel.

Figura 8. Proyección Pasajeros Nacionales Aeropuerto (BAQ) a 5 años

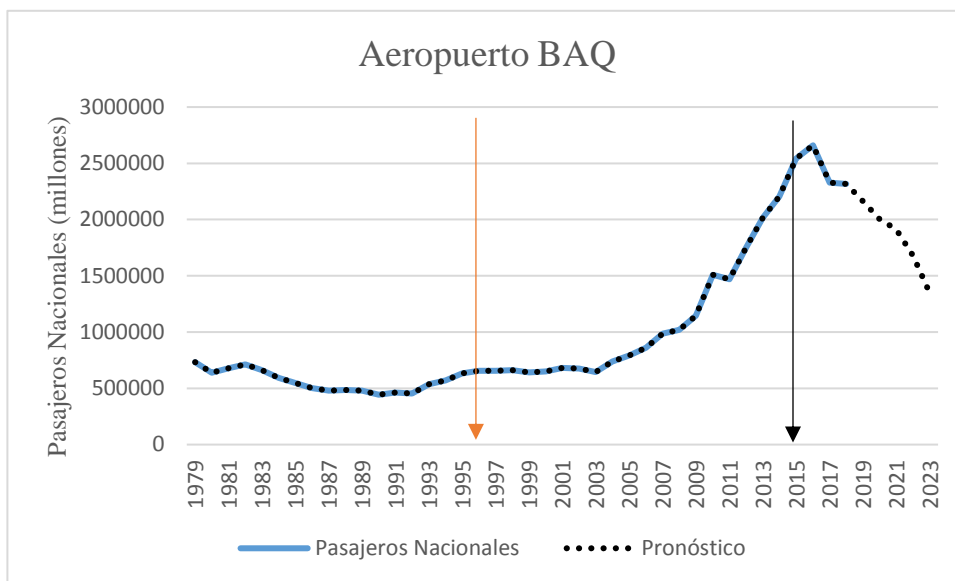


Figura 8. En el gráfico se muestra la proyección de pasajeros entre el periodo de estudio de (2019-2023). Millán, E. 2019. Recuperado de: Excel.

- ▶ Privatización 1ra concesión aeropuerto: Concesión (1996)
- ▶ Privatización 2da concesión aeropuerto: Concesión (2015)

Tabla 10. Proyecciones de Pasajeros Nacionales Aeropuerto BAQ a 3 años.

BAQ	
Año	Pax Nacional
2018	2317543
2019	2162083
2020	2004387
2021	1913880

Nota: En la tabla se muestran los pronósticos calculados para el aeropuerto BAQ. Proyecciones, Millán, E. 2019. Recuperado de: Excel.

Figura 9. Proyección Pasajeros Nacionales Aeropuerto (BAQ) a 3 años

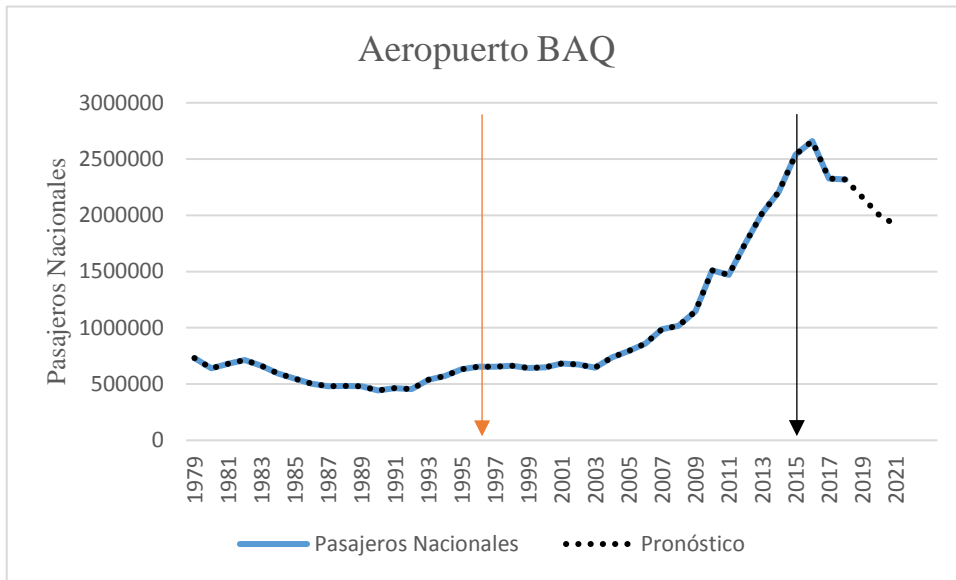


Figura 9. En el grafico se muestra la proyección de pasajeros entre el periodo de estudio de (2019-2021). Millán, E. 2019. Recuperado de: Excel.

—▶ Privatización 1ra concesión aeropuerto: Concesión (1996)

—▶ Privatización 2da concesión aeropuerto: Concesión (2015)

En la Figura 8 y 9, se observan dos etapas significativas que juegan un papel importante en la demanda de pasajeros de este aeropuerto que parte de la privatización, en la primera etapa el aeropuerto fue privatizado en el año de 1996 en la 1ra generación de concesiones se evidencia un crecimiento constante, hasta la segunda etapa cuando el aeropuerto entra en una segunda concesión en la 4ta generación de concesiones en el año 2015 la cual tenía como objetivo mejorar las condiciones de infraestructura, pero es notorio en los resultados obtenidos que la demanda de pasajeros empieza a decrecer en el año 2016 y se dice que “Fue concesionado finalizando 2014 y estará en proceso de ampliación y remodelación durante 2015, 2016 y parte de 2017, lo que puede afectar a su operatividad normal.” (Diaz Olariaga, Girón Amaya , & Mora Camino, 2017).

Aeropuerto internacional Rafael Núñez – Cartagena (CTG)

Esta serie necesito dos diferenciaciones para volverla estacionaria y poder así determinar el siguiente modelo.

Figura 10. Modelo Eviews-Aeropuerto CTG

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
AR(1)	-0.720456	0.108842	-6.619264	0.0000
AR(2)	-0.571303	0.101676	-5.618856	0.0000
SIGMASQ	1.74E+10	2.44E+09	7.139539	0.0000

Figura 10. En el grafico se muestra el modelo obtenido en el software Eviews. Programa Eviews. 02 de agosto de 2019. [Imagen]. Recuperado de: Eviews 9.

El modelo es un AR (1) AR (2), se determinó verificando con el nivel de significancia que se asignó el cual es 10% (0,1), el valor de Akaike 26,60455 y los valores de probabilidad arrojados fueron 0,0000, 0,0000, los cuales cumplen con el valor comparativo asignado, de esta figura también se toman los valores de los coeficientes para determinar el pronóstico.

Luego de haber obtenido el modelo, se muestran los pronósticos a (5 años) con su respectiva grafica de proyecciones; se decide realizar un análisis adicional a corto plazo (3 años) para perfilar el resultado de los pronósticos por la carencia de datos, esto se realiza como un apoyo en los análisis.

Tabla 11. Proyecciones de Pasajeros Nacionales Aeropuerto CTG a 5 años.

CTG	
Año	Pax Nacional
2018	4482482
2019	4424814
2020	4346085
2021	4435752
2022	4416129
2023	4379039

Nota: En la tabla se muestran los pronósticos calculados para el aeropuerto CTG. Proyecciones, Millán, E. 2019. Recuperado de: Excel.

Figura 11. Proyección Pasajeros Nacionales Aeropuerto (CTG) a 5 años

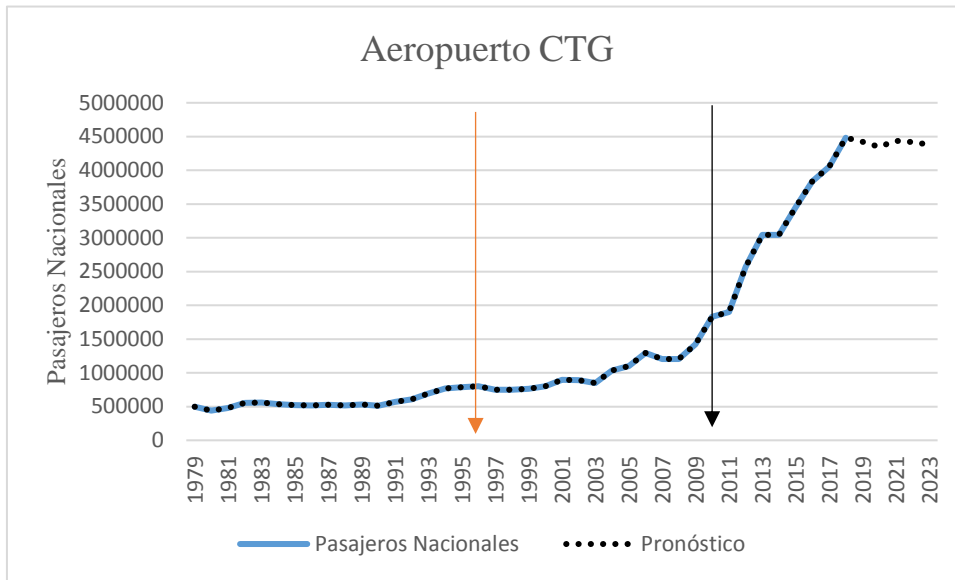


Figura 11. En el grafico se muestra la proyección de pasajeros entre el periodo de estudio de (2019-2023). Millán, E. 2019. Recuperado de: Excel.

- ▶ Privatización 1ra concesión aeropuerto: Concesión (1996)
- ▶ Privatización 2da concesión aeropuerto: Concesión (2010)

Tabla 12. Proyecciones de Pasajeros Nacionales Aeropuerto CTG a 3 años.

CTG	
Año	Pax Nacional
2018	4482482
2019	4424814
2020	4346085
2021	4435752

Nota: En la tabla se muestran los pronósticos calculados para el aeropuerto CTG. Proyecciones, Millán, E. 2019. Recuperado de: Excel.

Figura 12. Proyección Pasajeros Nacionales Aeropuerto (CTG) a 3 años

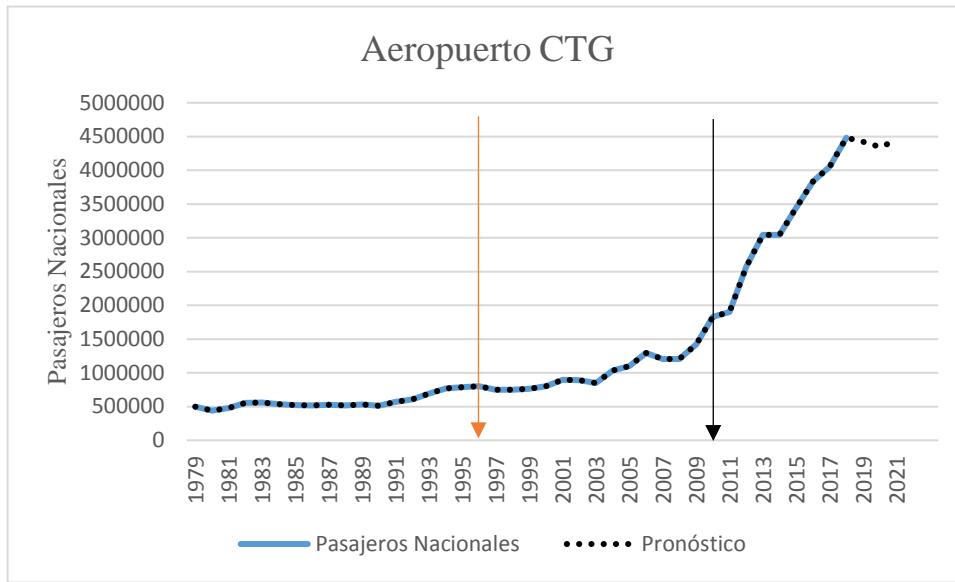


Figura 12. En el grafico se muestra la proyección de pasajeros entre el periodo de estudio de (2019-2021). Millán, E. 2019. Recuperado de: Excel.

—▶ Privatización 1ra concesión aeropuerto: Concesión (1996)

—▶ Privatización 2da concesión aeropuerto: Concesión (2010)

En la Figura 11 y 12, se observa un crecimiento positivo y en el periodo a pronosticar se mantiene continuó en el periodo de tiempo analizado, cabe recalcar que este aeropuerto desde el momento en que se realizó la segunda privatización en el año 2010, empezó a mostrar un crecimiento en la demanda de pasajeros muy notoria como se evidencia en la figura y se mantuvo en intervalo entre los años (2018-2021), debido a las modernizaciones que le están realizando al aeropuerto para suplir la gran demanda de pasajeros.

Aeropuerto internacional Palonegro – Bucaramanga (BGA)

Esta serie solo necesito una diferenciación para volverla estacionaria y poder así determinar el siguiente modelo.

Figura 13. Modelo Eviews-Aeropuerto BGA

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
AR(1)	0.410153	0.081902	5.007878	0.0000
SIGMASQ	7.24E+09	9.55E+08	7.584689	0.0000

Figura 13. En el grafico se muestra el modelo obtenido en el software Eviews. Programa Eviews. 02 de agosto de 2019. [Imagen]. Recuperado de: Eviews 9.

El modelo es un AR (1), se determinó verificando con el nivel de significancia que se asignó el cual es 10% (0,1), el valor de Akaike 25,64819 y el valor de probabilidad arrojado fue 0,0000, el cual cumple con el valor comparativo asignado, de esta figura también se toman los valores de los coeficientes para determinar el pronóstico.

Luego de haber obtenido el modelo, se muestran los pronósticos a (5 años) con su respectiva grafica de proyecciones; se decide realizar un análisis adicional a corto plazo (3 años) para perfilar el resultado de los pronósticos por la carencia de datos, esto se realiza como un apoyo en los análisis.

Tabla 13. Proyecciones de Pasajeros Nacionales Aeropuerto BGA a 5 años.

BGA	
Año	Pax Nacional
2018	1590109
2019	1610132
2020	1618345
2021	1621713
2022	1623095
2023	1623662

Nota: En la tabla se muestran los pronósticos calculados para el aeropuerto BGA. Proyecciones, Millán, E. 2019. Recuperado de: Excel.

Figura 14. Proyección Pasajeros Nacionales Aeropuerto (BGA) a 5 años

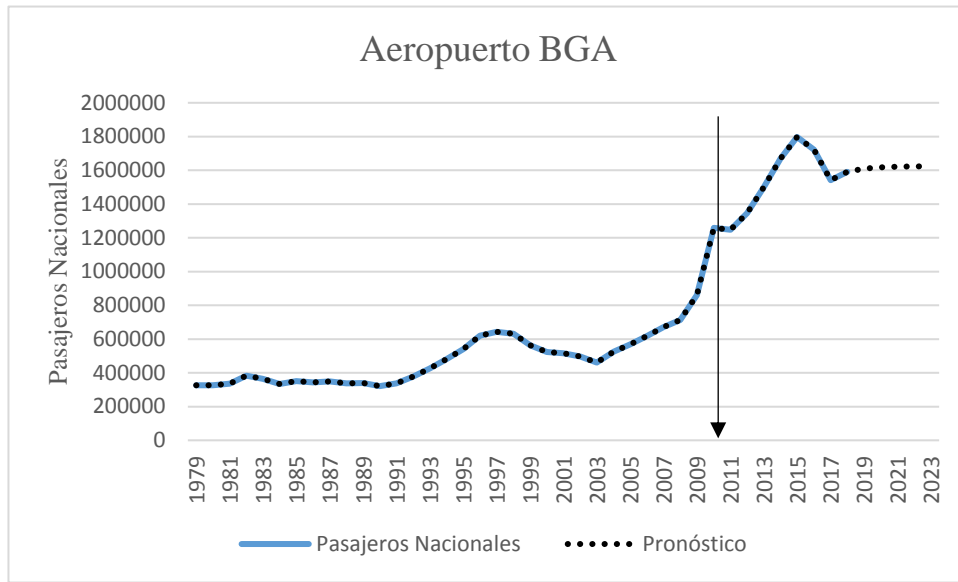


Figura 14. En el grafico se muestra la proyección de pasajeros entre el periodo de estudio de (2019-2023). Millán, E. 2019. Recuperado de: Excel.

—▶ Privatización aeropuerto: Concesión (2010)

Tabla 14. Proyecciones de Pasajeros Nacionales Aeropuerto BGA a 3 años.

BGA	
Año	Pax Nacional
2018	1590109
2019	1610132
2020	1618345
2021	1621713

Nota: En la tabla se muestran los pronósticos calculados para el aeropuerto BGA. Proyecciones, Millán, E. 2019. Recuperado de: Excel.

Figura 15. Proyección Pasajeros Nacionales Aeropuerto (BGA) a 3 años

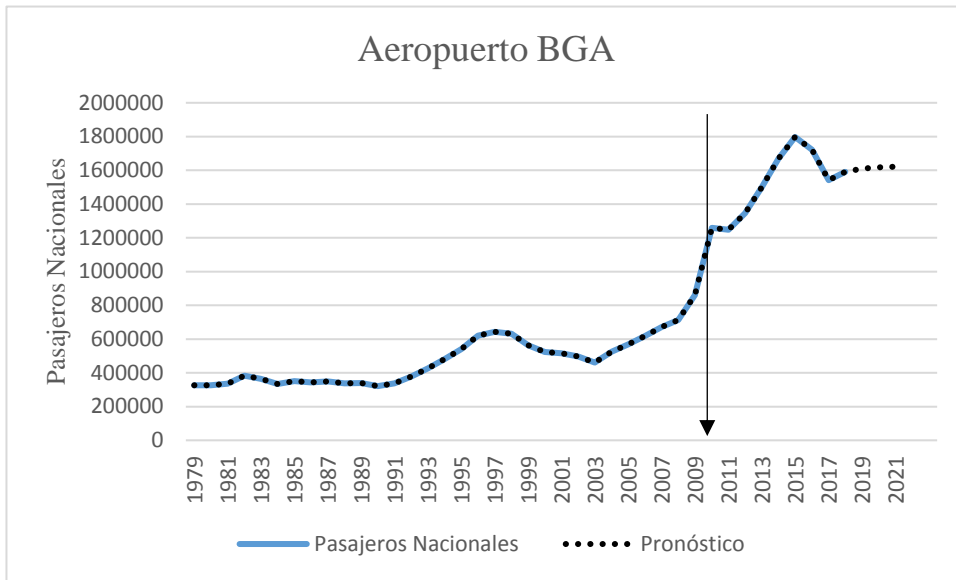


Figura 15. En el grafico se muestra la proyección de pasajeros entre el periodo de estudio de (2019-2021). Millán, E. 2019. Recuperado de: Excel.

—> **Privatización aeropuerto: Concesión (2010)**

En la Figura 14 y 15, se observa un crecimiento positivo en el transcurso del periodo de estudio, entre el año 2016-2018 se evidencia un decrecimiento por las modernizaciones y restauraciones realizadas, “donde la terminal se expandió 3.377 metros cuadrados y se habilitaron 3 niveles, con las adecuaciones queda en capacidad de atender un promedio de 2,5 millones de pasajeros al año” (El Tiempo, 2018), posterior a este año se observa que la demanda empieza a estabilizarse.

Aeropuerto internacional Olaya herrera – Medellín (EOH)

Con esta serie surge una curiosidad y es que en el proceso de convertirla en una serie estacionario se determina la utilización de más de dos diferencias, porque en el análisis ninguna de las dos diferencias cumplen con el valor comparativo que se estableció del 10% (0,1), lo que anteriormente se menciona recalando que si se necesitan más de dos diferencias en la serie esta se daña y no se puede implementar el modelo ARIMA para generar proyecciones.

Aeropuerto internacional José María Córdoba – Rio Negro (MDE)

Esta serie solo necesito una diferenciación para volverla estacionaria y poder así determinar el siguiente modelo.

Figura 16. Modelo Eviews-Aeropuerto MDE

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
AR(1)	0.257264	0.122118	2.106682	0.0422
AR(3)	0.318242	0.173854	1.830512	0.0755
SIGMASQ	1.32E+11	1.62E+10	8.156152	0.0000

Figura 16. En el grafico se muestra el modelo obtenido en el software Eviews. Programa Eviews. 02 de agosto de 2019. [Imagen]. Recuperado de: Eviews 9.

El modelo es un AR (1) AR (3), se determinó verificando con el nivel de significancia que se asignó el cual es 10% (0,1), el valor de Akaike 28,60725 y los valores de probabilidad arrojados fueron 0,0422, 0,0755 los cuales cumplen con el valor comparativo asignado, de esta figura también se toman los valores de los coeficientes para determinar el pronóstico.

Luego de haber obtenido el modelo, se muestran los pronósticos a (5 años) con su respectiva grafica de proyecciones; se decide realizar un análisis adicional a corto plazo (3 años) para perfilar el resultado de los pronósticos por la carencia de datos, esto se realiza como un apoyo en los análisis.

Tabla 15. Proyecciones de Pasajeros Nacionales Aeropuerto MDE a 5 años.

MDE	
Año	Pax Nacional
2018	6452957
2019	6706732
2020	6740068
2021	6823366
2022	6925558
2023	6962457

Nota: En la tabla se muestran los pronósticos calculados para el aeropuerto MDE. Proyecciones, Millán, E. 2019. Recuperado de: Excel.

Figura 17. Proyección Pasajeros Nacionales Aeropuerto (MDE) a 5 años

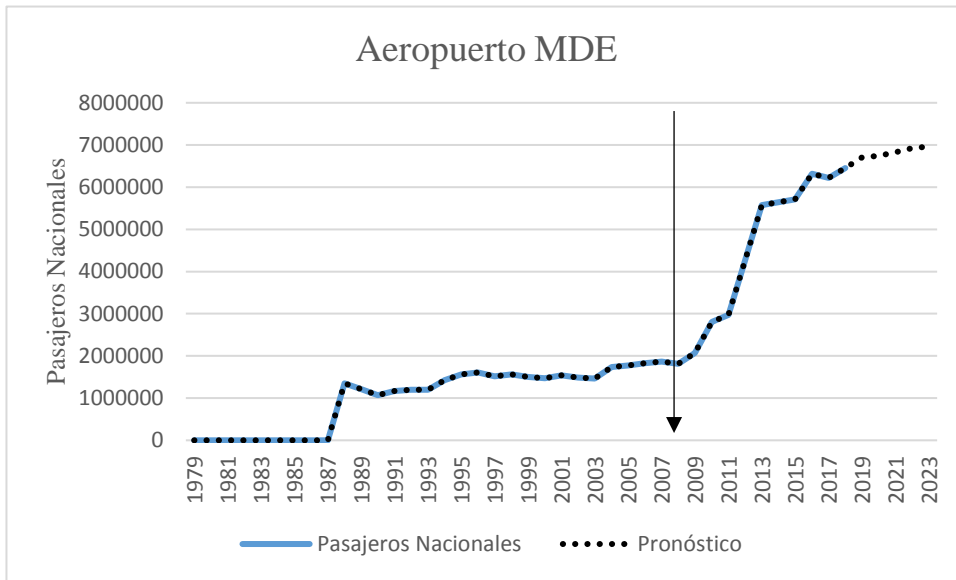


Figura 17. En el grafico se muestra la proyección de pasajeros entre el periodo de estudio de (2019-2023). Millán, E. 2019. Recuperado de: Excel.

—> Privatización aeropuerto: Concesión (2008)

Tabla 16. Proyecciones de Pasajeros Nacionales Aeropuerto MDE a 3 años.

MDE	
Año	Pax Nacional
2018	6452957
2019	6706732
2020	6740068
2021	6823366

Nota: En la tabla se muestran los pronósticos calculados para el aeropuerto MDE. Proyecciones, Millán, E. 2019. Recuperado de: Excel.

Figura 18. Proyección Pasajeros Nacionales Aeropuerto (MDE) a 3 años

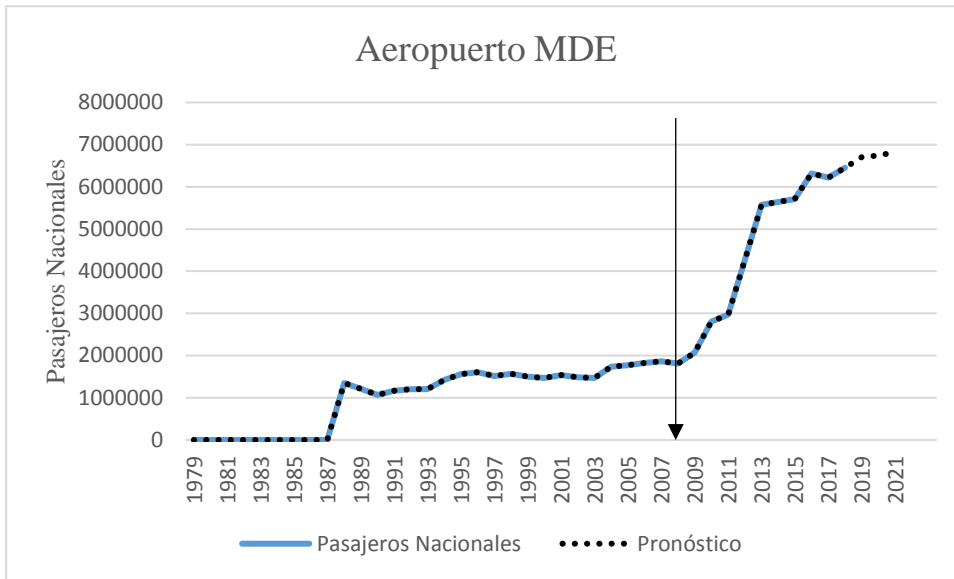


Figura 18. En el grafico se muestra la proyección de pasajeros entre el periodo de estudio de (2019-2021). Millán, E. 2019. Recuperado de: Excel.

—> Privatización aeropuerto: Concesión (2008)

En la Figura 17 y 18, observamos como diferentes etapas en este aeropuerto juegan un papel importante en él, como primera fase observamos que para el periodo de 1979-1987 se mantiene en cero la demanda de pasajeros por la razón de que este aeropuerto surgió como la necesidad de un nuevo lugar de mayor tamaño y capacidad que supliría y tomara la mayor parte de operaciones de su aeropuerto colindante Olaya Herrera (EOH), este fue el periodo de inauguración mientras se iniciaban operaciones, para el periodo de (1987-2007) se observa que la demanda se mantuvo estable, para el año 2008 en adelante se observa un crecimiento positivo gracias a las diferentes modernizaciones, para los años (2015-2017) muestra una pequeña disminución pero todo se debe a que por consecuencia del crecimiento en el marco de operaciones se realizan obras infraestructurales adicionales para mejorar la terminal, posterior ha este año se ve como aumenta el crecimiento de pasajeros notoriamente.

Aeropuerto internacional Matecaña – Pereira (PEI)

Esta serie solo necesito una diferenciación para volverla estacionaria y poder así determinar el siguiente modelo.

Figura 19. Modelo Eviews-Aeropuerto PEI

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
AR(1)	0.341041	0.132075	2.582172	0.0140
AR(4)	0.432245	0.132208	3.269442	0.0024
SIGMASQ	4.08E+09	7.97E+08	5.123293	0.0000

Figura 19. En el grafico se muestra el modelo obtenido en el software Eviews. Programa Eviews. 02 de agosto de 2019. [Imagen]. Recuperado de: Eviews 9.

El modelo es un AR (1) AR (4), se determinó verificando con el nivel de significancia que se asignó el cual es 10% (0,1), el valor de Akaike 25,15236 y los valores de probabilidad arrojados fueron 0,0140, 0,0024, los cuales cumplen con el valor comparativo asignado, de esta figura también se toman los valores de los coeficientes para determinar el pronóstico.

Luego de haber obtenido el modelo, se muestran los pronósticos a (5 años) con su respectiva grafica de proyecciones; se decide realizar un análisis adicional a corto plazo (3 años) para perfilar el resultado de los pronósticos por la carencia de datos, esto se realiza como un apoyo en los análisis.

Tabla 17. Proyecciones de Pasajeros Nacionales Aeropuerto PEI a 5 años.

PEI	
Año	Pax Nacional
2018	1708953
2019	1860075
2020	1909794
2021	1930920
2022	2044689
2023	2148810

Nota: En la tabla se muestran los pronósticos calculados para el aeropuerto PEI. Proyecciones, Millán, E. 2019. Recuperado de: Excel.

Figura 20. Proyección Pasajeros Nacionales Aeropuerto (PEI) a 5 años

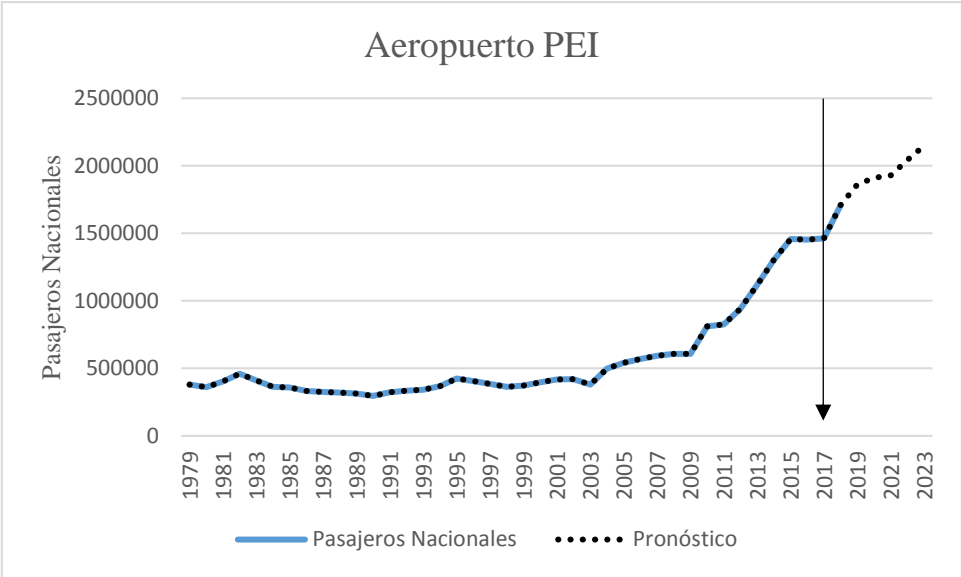


Figura 20. En el grafico se muestra la proyección de pasajeros entre el periodo de estudio de (2019-2023). Millán, E. 2019. Recuperado de: Excel.

—> Privatización aeropuerto: Concesión (2017)

Tabla 18. Proyecciones de Pasajeros Nacionales Aeropuerto PEI a 3 años.

PEI	
Año	Pax Nacional
2018	1708953
2019	1860075
2020	1909794
2021	1930920

Nota: En la tabla se muestran los pronósticos calculados para el aeropuerto PEI. Proyecciones, Millán, E. 2019. Recuperado de: Excel.

Figura 21. Proyección Pasajeros Nacionales Aeropuerto (PEI) a 3 años

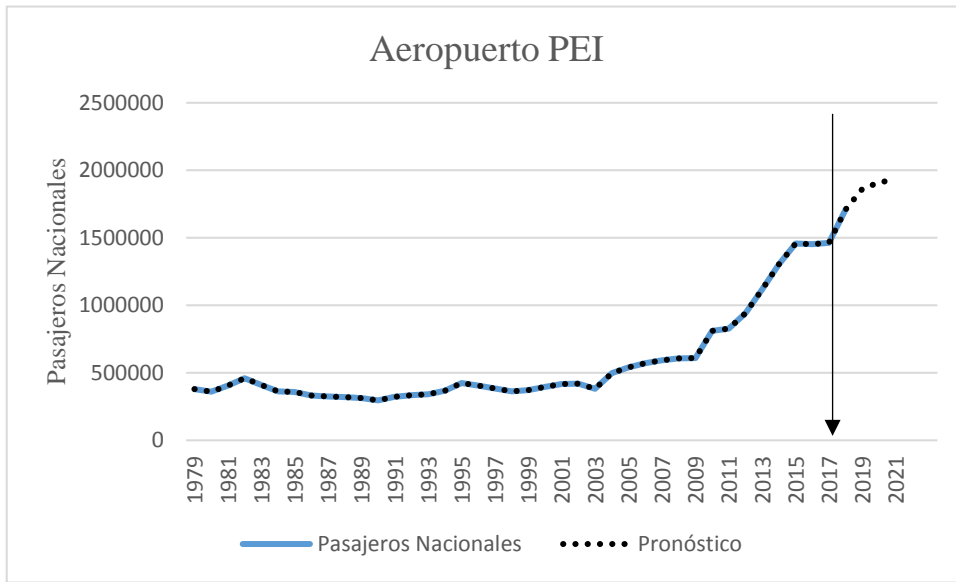


Figura 21. En el grafico se muestra la proyección de pasajeros entre el periodo de estudio de (2019-2021). Millán, E. 2019. Recuperado de: Excel.

—► Privatización aeropuerto: Concesión (2017)

En la Figura 20 y 21, se observa un crecimiento positivo en el transcurso del periodo de estudio, en la etapa de inicio de la privatización entre los años 2015-2017 se observa que hubo un tiempo de receso y posterior para los años proyectados se evidencia una alta demanda de pasajeros.

Aeropuerto internacional Alfonso Bonilla Aragón - Cali (CLO)

Esta serie solo necesito una diferenciación para volverla estacionaria y poder así determinar el siguiente modelo.

Figura 22. Modelo Eviews-Aeropuerto CLO

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
AR(1)	0.587301	0.128490	4.570779	0.0001
AR(6)	0.559139	0.212279	2.633978	0.0125
AR(7)	-0.685882	0.162586	-4.218583	0.0002
SIGMASQ	2.49E+10	5.95E+09	4.191822	0.0002

Figura 22. En el grafico se muestra el modelo obtenido en el software Eviews. Programa Eviews. 02 de agosto de 2019. [Imagen]. Recuperado de: Eviews 9.

El modelo es un AR (1) AR (6) AR (7), se determinó verificando con el nivel de significancia que se asignó el cual es 10% (0,1), el valor de Akaike 27,11832 y los valores de probabilidad arrojados fueron 0,0001, 0,0125, 0,0002, los cuales cumplen con el valor comparativo asignado, de esta figura también se toman los valores de los coeficientes para determinar el pronóstico.

Luego de haber obtenido el modelo, se muestran los pronósticos a (5 años) con su respectiva grafica de proyecciones; se decide realizar un análisis adicional a corto plazo (3 años) para perfilar el resultado de los pronósticos por la carencia de datos, esto se realiza como un apoyo en los análisis.

Tabla 19. Proyecciones de Pasajeros Nacionales Aeropuerto CLO a 5 años.

CLO	
Año	Pax Nacional
2018	4036353
2019	3984496
2020	3682710
2021	3506468
2022	3378988
2023	2711117

Nota: En la tabla se muestran los pronósticos calculados para el aeropuerto CLO. Proyecciones, Millán, E. 2019. Recuperado de: Excel.

Figura 23. Proyección Pasajeros Nacionales Aeropuerto (CLO) a 5 años

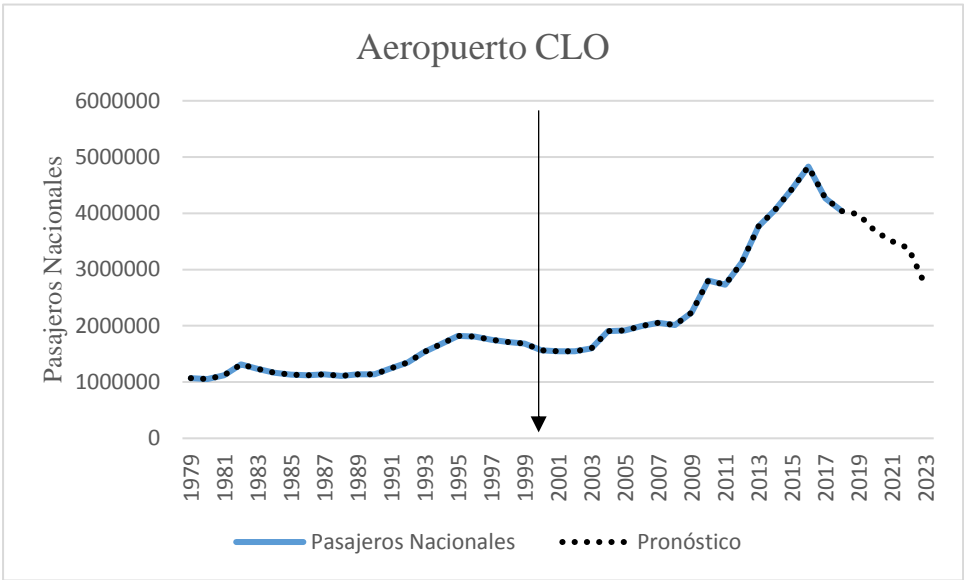


Figura 23. En el grafico se muestra la proyección de pasajeros entre el periodo de estudio de (2019-2023). Millán, E. 2019. Recuperado de: Excel.

—▶ Privatización aeropuerto: Concesión (2000)

Tabla 20. Proyecciones de Pasajeros Nacionales Aeropuerto CLO a 3 años.

CLO	
Año	Pax Nacional
2018	4036353
2019	3984496
2020	3682710
2021	3506468

Nota: En la tabla se muestran los pronósticos calculados para el aeropuerto CLO. Proyecciones, Millán, E. 2019. Recuperado de: Excel.

Figura 24. Proyección Pasajeros Nacionales Aeropuerto (CLO) a 3 años

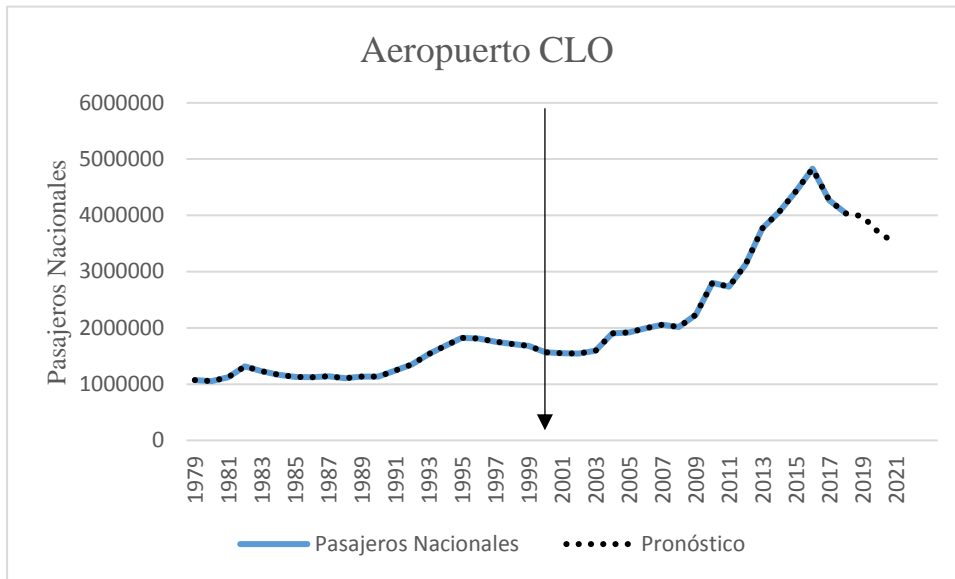


Figura 24. En el grafico se muestra la proyección de pasajeros entre el periodo de estudio de (2019-2021). Millán, E. 2019. Recuperado de: Excel.

—> Privatización aeropuerto: Concesión (2000)

En la Figura 23 y 24, se observa un crecimiento estable inicialmente y que posterior a la privatización en el año (2000) aumento de manera progresiva y notoria hasta el periodo de (2014-2015) en donde empezaron “las obras de modernización del terminal, construcción de la terminal internacional y expansión del aeropuerto”. (Franco Topper , 2015), también generando que las tarifas aeronáuticas subieran, lo que causó que la demanda de pasajeros disminuyera para los años pronosticados.

Aeropuerto internacional Simón Bolívar – Santa Marta (SMR)

Esta serie necesito dos diferenciaciones para volverla estacionaria y poder así determinar el siguiente modelo.

Figura 25. Modelo Eviews-Aeropuerto SMR

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
AR(1)	-0.915801	0.122562	-7.472171	0.0000
AR(2)	-0.591593	0.112906	-5.239710	0.0000
SIGMASQ	4.65E+09	7.11E+08	6.536615	0.0000

Figura 25. En el grafico se muestra el modelo obtenido en el software Eviews. Programa Eviews. 02 de agosto de 2019. [Imagen]. Recuperado de: Eviews 9.

El modelo es un AR (1) AR (2), se determinó verificando con el nivel de significancia que se asignó el cual es 10% (0,1), el valor de Akaike 25,28922 y los valores de probabilidad arrojados fueron 0,0000, 0,0000, los cuales cumplen con el valor comparativo asignado, de esta figura también se toman los valores de los coeficientes para determinar el pronóstico.

Luego de haber obtenido el modelo, se muestran los pronósticos a (5 años) con su respectiva grafica de proyecciones; se decide realizar un análisis adicional a corto plazo (3 años) para perfilar el resultado de los pronósticos por la carencia de datos, esto se realiza como un apoyo en los análisis.

Tabla 21. Proyecciones de Pasajeros Nacionales Aeropuerto SMR a 5 años.

SMR	
Año	Pax Nacional
2018	1996622
2019	1812161
2020	1897191
2021	1928446
2022	1849519
2023	1903310

Nota: En la tabla se muestran los pronósticos calculados para el aeropuerto SMR. Proyecciones, Millán, E. 2019. Recuperado de: Excel.

Figura 26. Proyección Pasajeros Nacionales Aeropuerto (SMR) a 5 años

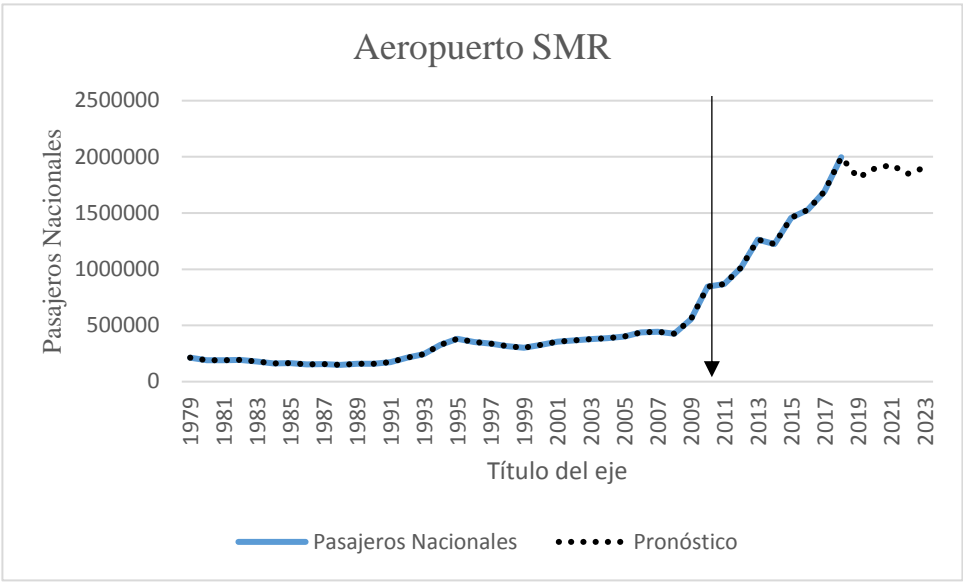


Figura 26. En el grafico se muestra la proyección de pasajeros entre el periodo de estudio de (2019-2023). Millán, E. 2019. Recuperado de: Excel.

—> Privatización aeropuerto: Concesión (2010)

Tabla 22. Proyecciones de Pasajeros Nacionales Aeropuerto SMR a 3 años.

SMR	
Año	Pax Nacional
2018	1996622
2019	1812161
2020	1897191
2021	1928446

Nota: En la tabla se muestran los pronósticos calculados para el aeropuerto SMR. Proyecciones, Millán, E. 2019. Recuperado de: Excel.

Figura 27. Proyección Pasajeros Nacionales Aeropuerto (SMR) a 3 años

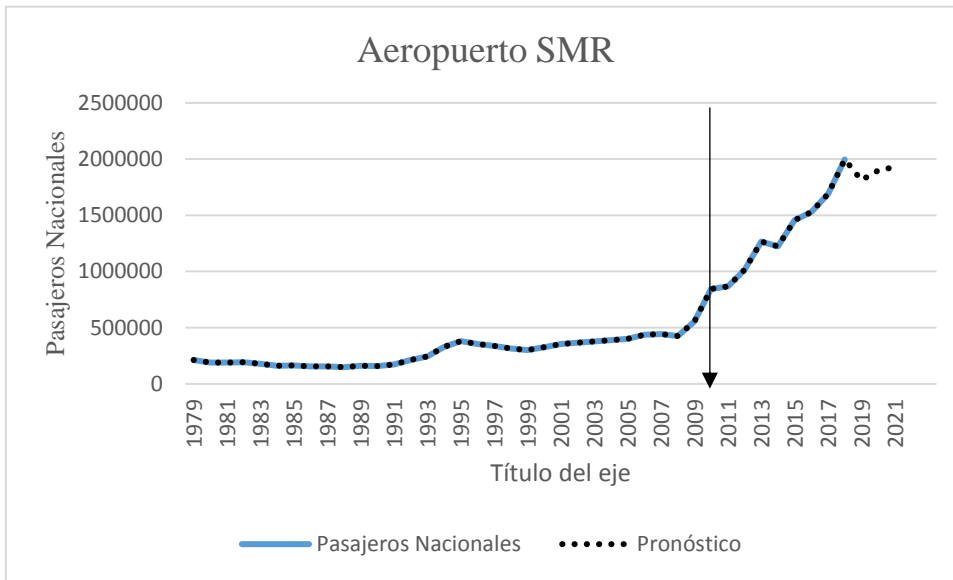


Figura 27. En el grafico se muestra la proyección de pasajeros entre el periodo de estudio de (2019-2021). Millán, E. 2019. Recuperado de: Excel.

—> Privatización aeropuerto: Concesión (2010)

En la Figura 26 y 27, se observa inicialmente un crecimiento neutro y luego a la privatización en el año 2010, se evidencia un crecimiento muy positivo y que se mantiene continuó en el periodo de tiempo analizado y pronosticado.

Resultados y análisis pasajeros Internacionales

Como se mencionó en el ítem anterior el análisis para los pasajeros internacionales es el mismo que se le dio a la serie de pasajeros nacionales.

Aeropuerto internacional José María Córdoba – Rionegro (MDE)

Esta serie necesito dos diferenciaciones para volverla estacionaria y poder así determinar el siguiente modelo.

Figura 28. Modelo Eviews-Aeropuerto MDE

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
AR(1)	-0.795113	0.140206	-5.671022	0.0000
AR(2)	-0.521177	0.166403	-3.132017	0.0035
SIGMASQ	1.49E+09	2.96E+08	5.025373	0.0000

Figura 28. En el grafico se muestra el modelo obtenido en el software Eviews. Programa Eviews. 02 de agosto de 2019. [Imagen]. Recuperado de: Eviews 9.

El modelo es un AR (1) AR (2), se determinó verificando con el nivel de significancia que se asignó el cual es 10% (0,1), el valor de Akaike 24,13983 y los valores de probabilidad arrojados fueron 0,0000, 0,0035, los cuales cumplen con el valor comparativo asignado, de esta figura también se toman los valores de los coeficientes para determinar el pronóstico.

Luego de haber obtenido el modelo, se muestran los pronósticos a (5 años) con su respectiva grafica de proyecciones; se decide realizar un análisis adicional a corto plazo (3 años) para perfilar el resultado de los pronósticos por la carencia de datos, esto se realiza como un apoyo en los análisis.

Tabla 23. Proyecciones de Pasajeros Internacionales Aeropuerto MDE a 5 años.

MDE	
Año	Pax Internacional
2018	1567412
2019	1532578
2020	1489488
2021	1541904
2022	1522685
2023	1510648

Nota: En la tabla se muestran los pronósticos calculados para el aeropuerto MDE. Proyecciones, Millán, E. 2019. Recuperado de: Excel.

Figura 29. Proyección Pasajeros Internacionales Aeropuerto (MDE) a 5 años

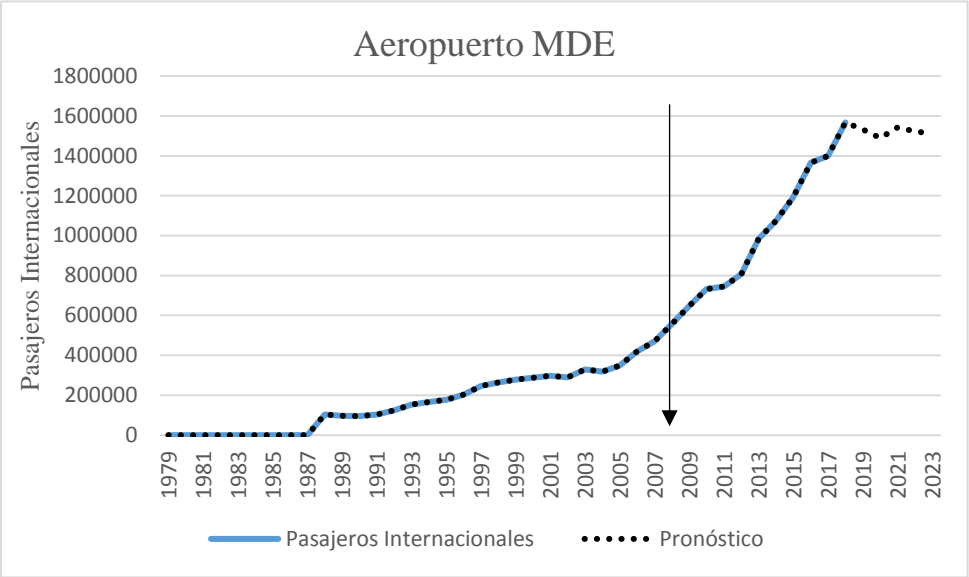


Figura 29. En el grafico se muestra la proyección de pasajeros entre el periodo de estudio de (2019-2023). Millán, E. 2019. Recuperado de: Excel.

—▶ Privatización aeropuerto: Concesión (2008)

Tabla 24. Proyecciones de Pasajeros Internacionales Aeropuerto MDE a 3 años.

MDE	
Año	Pax Internacional
2018	1567412
2019	1532578
2020	1489488
2021	1541904

Nota: En la tabla se muestran los pronósticos calculados para el aeropuerto MDE. Proyecciones, Millán, E. 2019. Recuperado de: Excel.

Figura 30. Proyección Pasajeros Internacionales Aeropuerto (MDE) a 3 años

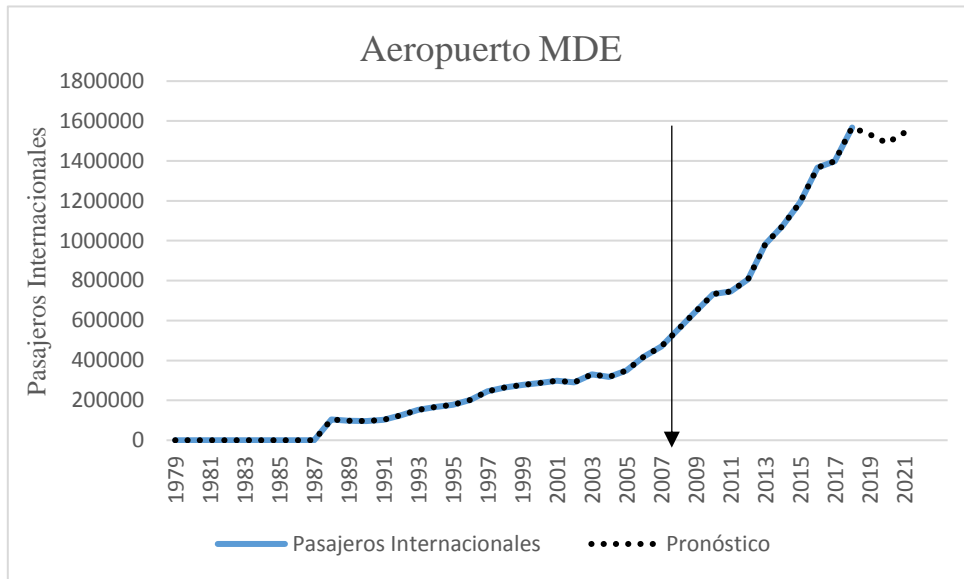


Figura 30. En el grafico se muestra la proyección de pasajeros entre el periodo de estudio de (2019-2021). Millán, E. 2019. Recuperado de: Excel.

—► Privatización aeropuerto: Concesión (2008)

En la Figura 29 y 30 , se toma como base el análisis que se realizó para el aeropuerto (MDE) pasajeros nacionales antes mencionados como factores de incidencia, y se recalca que este aeropuerto muestra una alta demanda de pasajeros en todo su periodo por el resultado de “que esta situación se deba a que los aeropuertos EOH (Medellín) y MDE (Rionegro), en cierta medida, "compiten entre sí", ya que se encuentran en ciudades muy próximas (límitrofes) en el mismo departamento administrativo.” (Diaz Olariaga, Girón Amaya , & Mora Camino, 2017).

Aeropuerto internacional Ernesto Cortisoz – Barranquilla (BAQ)

Esta serie solo necesito una diferenciación para volverla estacionaria y poder así determinar el siguiente modelo.

Figura 31. Modelo Eviews-Aeropuerto BAQ

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
AR(3)	0.279002	0.146080	1.909924	0.0639
SIGMASQ	3.83E+08	75715495	5.055464	0.0000

Figura 31. En el grafico se muestra el modelo obtenido en el software Eviews. Programa Eviews. 02 de agosto de 2019. [Imagen]. Recuperado de: Eviews 9.

El modelo es un AR (3), se determinó verificando con el nivel de significancia que se asignó el cual es 10% (0,1), el valor de Akaike 22,70964 y los valores de probabilidad arrojados fueron 0,0639, los cuales cumplen con el valor comparativo asignado, de esta figura también se toman los valores de los coeficientes para determinar el pronóstico.

Luego de haber obtenido el modelo, se muestran los pronósticos a (5 años) con su respectiva grafica de proyecciones; se decide realizar un análisis adicional a corto plazo (3 años) para perfilar el resultado de los pronósticos por la carencia de datos, esto se realiza como un apoyo en los análisis.

Tabla 25. Proyecciones de Pasajeros Internacionales Aeropuerto BAQ a 5 años.

BAQ	
Año	Pax Internacional
2018	261751
2019	271769
2020	270819
2021	274612
2022	277407
2023	277142

Nota: En la tabla se muestran los pronósticos calculados para el aeropuerto BAQ. Proyecciones, Millán, E. 2019. Recuperado de: Excel.

Figura 32. Proyección Pasajeros Internacionales Aeropuerto (BAQ) a 5 años

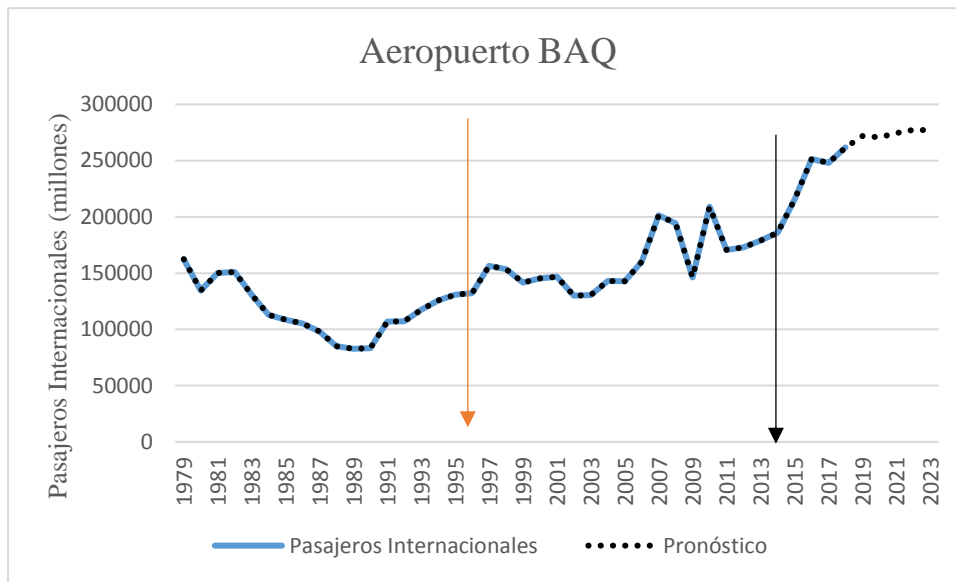


Figura 32. En el grafico se muestra la proyección de pasajeros entre el periodo de estudio de (2019-2023). Millán, E. 2019. Recuperado de: Excel.

- ▶ Privatización 1ra concesión aeropuerto: Concesión (1996)
- ▶ Privatización 2da concesión aeropuerto: Concesión (2014)

Tabla 26. Proyecciones de Pasajeros Internacionales Aeropuerto BAQ a 3 años.

BAQ	
Año	Pax Internacional
2018	261751
2019	271769
2020	270819
2021	274612

Nota: En la tabla se muestran los pronósticos calculados para el aeropuerto BAQ. Proyecciones, Millán, E. 2019. Recuperado de: Excel.

Figura 33. Proyección Pasajeros Internacionales Aeropuerto (BAQ) a 3 años

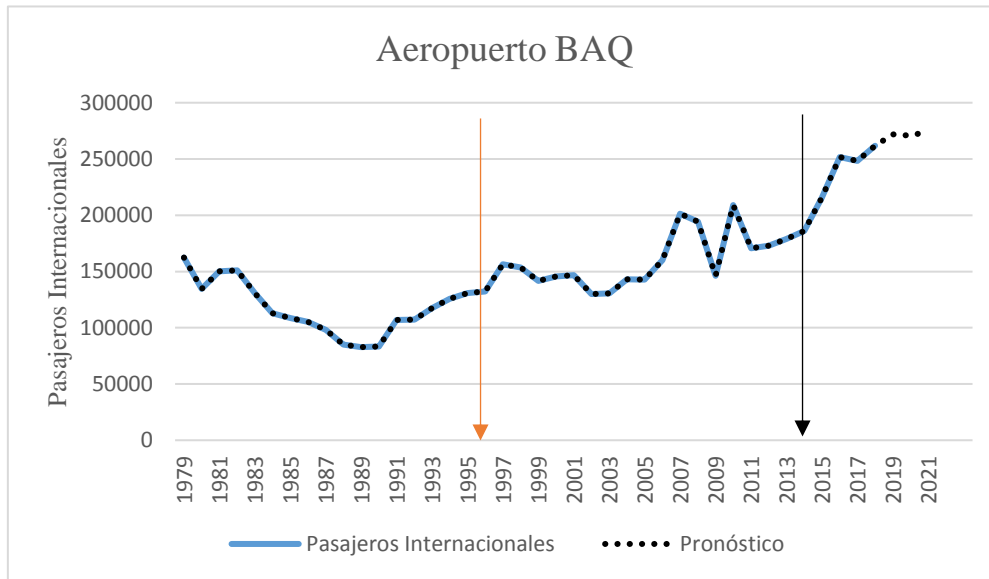


Figura 33. En el grafico se muestra la proyección de pasajeros entre el periodo de estudio de (2019-2021). Millán, E. 2019. Recuperado de: Excel.

—▶ Privatización 1ra concesión aeropuerto: Concesión (1996)

—▶ Privatización 2da concesión aeropuerto: Concesión (2014)

En la Figura 32 y 33, como se mencionó en el análisis de pasajeros nacionales (BAQ), el aeropuerto muestra variaciones en la demanda, por la razón de que se encuentra en procesos de modernización, ampliación y remodelación de varias de sus áreas del terminal entre el periodo de (2015-2017), posterior a este periodo se observa como su demanda de pasajeros crece y se mantiene estable.

Aeropuerto internacional Rafael Núñez – Cartagena (CTG)

Esta serie necesito dos diferenciaciones para volverla estacionaria y poder así determinar el siguiente modelo.

Figura 34. Modelo Eviews-Aeropuerto CTG

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
AR(1)	-0.415575	0.222275	-1.869642	0.0699
AR(3)	0.271744	0.135836	2.000529	0.0532
SIGMASQ	1.37E+09	1.98E+08	6.919519	0.0000

Figura 34. En el grafico se muestra el modelo obtenido en el software Eviews. Programa Eviews. 02 de agosto de 2019. [Imagen]. Recuperado de: Eviews 9.

El modelo es un AR (1) AR (3 se determinó verificando con el nivel de significancia que se asignó el cual es 10% (0,1), el valor de Akaike 24,04300 y los valores de probabilidad arrojados fueron 0,0699, 0,0532, los cuales cumplen con el valor comparativo asignado, de esta figura también se toman los valores de los coeficientes para determinar el pronóstico.

Luego de haber obtenido el modelo, se muestran los pronósticos a (5 años) con su respectiva grafica de proyecciones; se decide realizar un análisis adicional a corto plazo (3 años) para perfilar el resultado de los pronósticos por la carencia de datos, esto se realiza como un apoyo en los análisis.

Tabla 27. Proyecciones de Pasajeros Internacionales Aeropuerto CTG a 5 años.

CTG	
Año	Pax Internacional
2018	916635
2019	849083
2020	880475
2021	909915
2022	879323
2023	900567

Nota: En la tabla se muestran los pronósticos calculados para el aeropuerto CTG. Proyecciones, Millán, E. 2019. Recuperado de: Excel.

Figura 35. Proyección Pasajeros Internacionales Aeropuerto (CTG) a 5 años

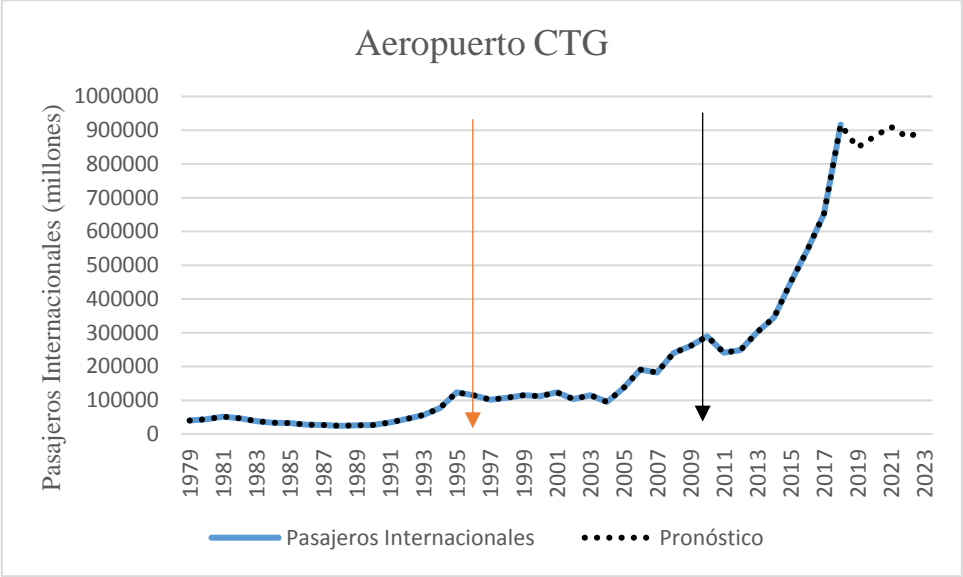


Figura 35. En el grafico se muestra la proyección de pasajeros entre el periodo de estudio de (2019-2023). Millán, E. 2019. Recuperado de: Excel.

- ▶ Privatización 1ra concesión aeropuerto: Concesión (1996)
- ▶ Privatización 2da concesión aeropuerto: Concesión (2010)

Tabla 28. Proyecciones de Pasajeros Internacionales Aeropuerto CTG a 3 años.

CTG	
Año	Pax Internacional
2018	916635
2019	849083
2020	880475
2021	909915

Nota: En la tabla se muestran los pronósticos calculados para el aeropuerto CTG. Proyecciones, Millán, E. 2019. Recuperado de: Excel.

Figura 36. Proyección Pasajeros Internacionales Aeropuerto (CTG) a 3 años

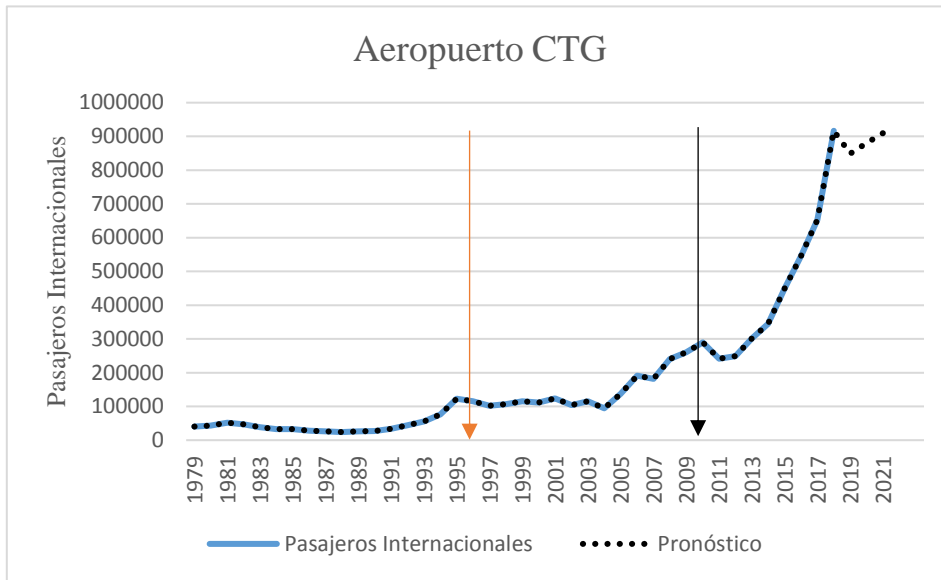


Figura 36. En el grafico se muestra la proyección de pasajeros entre el periodo de estudio de (2019-2021). Millán, E. 2019. Recuperado de: Excel.

—▶ Privatización 1ra concesión aeropuerto: Concesión (1996)

—▶ Privatización 2da concesión aeropuerto: Concesión (2010)

En la Figura 35 y 36, se observa un crecimiento positivo y en el periodo a pronosticar se mantiene continuó en el periodo de tiempo analizado, debido a las modernizaciones que le están realizando al aeropuerto para suplir la gran demanda de pasajeros.

Aeropuerto internacional Alfonso Bonilla Arango – Cali (CLO)

Esta serie solo necesito una diferenciación para volverla estacionaria y poder así determinar el siguiente modelo.

Figura 37. Modelo Eviews-Aeropuerto CLO

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
AR(2)	0.222514	0.121466	1.831908	0.0755
AR(3)	0.228557	0.105070	2.175288	0.0365
AR(6)	0.366977	0.122755	2.989521	0.0051
SIGMASQ	7.95E+08	1.44E+08	5.522765	0.0000

Figura 37. En el grafico se muestra el modelo obtenido en el software Eviews. Programa Eviews. 02 de agosto de 2019. [Imagen]. Recuperado de: Eviews 9.

El modelo es un AR (2) AR (3) AR (6), se determinó verificando con el nivel de significancia que se asignó el cual es 10% (0,1), el valor de Akaike 23,57896 y los valores de probabilidad arrojados fueron 0,0755, 0,0365, 0,0051, los cuales cumplen con el valor comparativo asignado, de esta figura también se toman los valores de los coeficientes para determinar el pronóstico.

Luego de haber obtenido el modelo, se muestran los pronósticos a (5 años) con su respectiva grafica de proyecciones; se decide realizar un análisis adicional a corto plazo (3 años) para perfilar el resultado de los pronósticos por la carencia de datos, esto se realiza como un apoyo en los análisis.

Tabla 29. Proyecciones de Pasajeros Internacionales Aeropuerto CLO a 5 años.

CLO	
Año	Pax Internacional
2018	816921
2019	851737
2020	868937
2021	911935
2022	946585
2023	958849

Nota: En la tabla se muestran los pronósticos calculados para el aeropuerto CLO. Proyecciones, Millán, E. 2019. Recuperado de: Excel.

Figura 38. Proyección Pasajeros Internacionales Aeropuerto (CLO) a 5 años

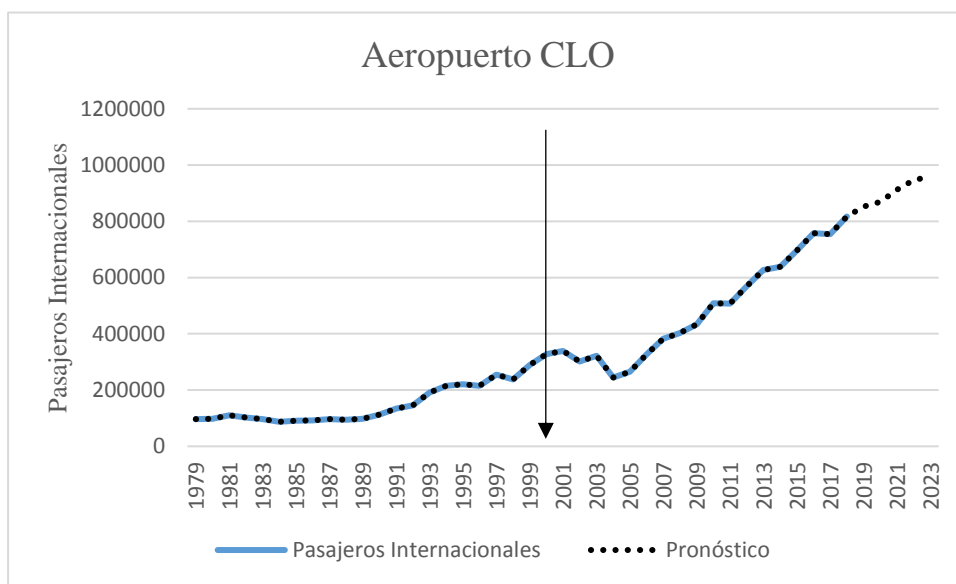


Figura 38. En el grafico se muestra la proyección de pasajeros entre el periodo de estudio de (2019-2023). Millán, E. 2019. Recuperado de: Excel.

—> Privatización 2da concesión aeropuerto: Concesión (2000)

Tabla 30. Proyecciones de Pasajeros Internacionales Aeropuerto CLO a 3 años.

CLO	
Año	Pax Internacional
2018	816921
2019	851737
2020	868937
2021	911935

Nota: En la tabla se muestran los pronósticos calculados para el aeropuerto CLO. Proyecciones, Millán, E. 2019. Recuperado de: Excel.

Figura 39. Proyección Pasajeros Internacionales Aeropuerto (CLO) a 3 años

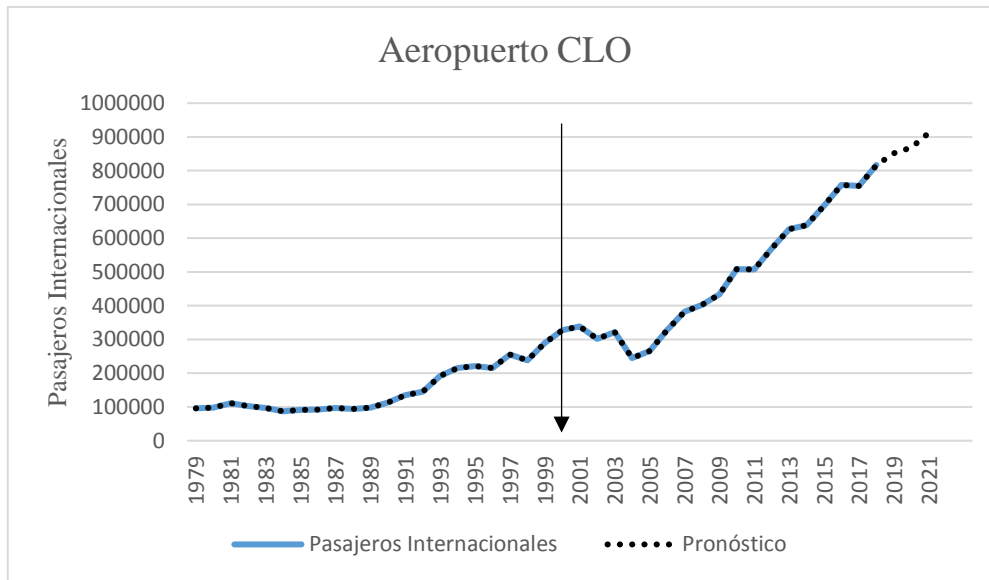


Figura 39. En el grafico se muestra la proyección de pasajeros entre el periodo de estudio de (2019-2021). Millán, E. 2019. Recuperado de: Excel.

En la Figura 38 y 39, se toma el análisis base realizado para los pasajeros nacionales (CLO) y partiendo de esto se dice que con las modernizaciones, ampliaciones y construcción del nuevo terminal internacional se evidencia en la figura un crecimiento muy bueno y notorio, enfatizando que “estas adecuaciones permitirán duplicar la cifra de 5,5 millones de pasajeros que recibe esta terminal aérea anualmente según los datos registrados por la sociedad concesionada administradora de infraestructura y servicios del aeropuerto internacional”. (Díaz Olariaga, Girón Amaya , & Mora Camino, 2017).

Resultados y análisis del modelo lineal dinámico (MLD)

Este modelo se implementa para realizar un comparativo con los resultados de los pronósticos obtenidos a tres años del modelo anterior, cabe recalcar que este modelo no lleva covariables debido a que las que se tienen como base elevan los valores del MAPE, en el desarrollo de esta fase del trabajo se integraron las covariables socioeconómicas pero estas generaban que ninguno de los modelos resultantes se adaptara al mínimo valor aceptable para el tráfico aéreo que

debe ser igual o superior al 90%, por tal razón no se utilizaran en el desarrollo de este segundo modelo, recordando que un excelente valor sería del 1%.

Como se mencionó en el modelo anterior, el análisis se dividió en dos partes, la primera para los pasajeros nacionales y la segunda para pasajeros internacionales, el modelo lineal dinámico es un modelo básico sin covariables, el cual se determinó en tres etapas:

1. El análisis de la gráfica de la serie original para verificar que tan bien se ajusta al modelo.
2. El análisis del mejor modelo pronosticado.
3. La fiabilidad del modelo propuesto que se verifica con ayuda del Mean Absolute Percentage Error (MAPE), el cual mide el error en términos porcentuales del modelo.

Es muy importante recordar que: “En pronóstico de tráfico aéreo los planificadores aeroportuarios suelen dar por válida, o aceptan, los resultados de los pronósticos cuando los indicadores de confianza, según la metodología utilizada, sean igual o superior al 90%.” (Aerocivil, 2014).

Resultados y análisis pasajeros Nacionales

Aeropuerto internacional Gustavo Rojas Pinilla – San Andrés (ADZ)

Con ayuda del programa se analiza inicialmente que tan bueno es el ajuste del modelo a la serie original esto se observa en la siguiente figura y el cual se verifica con ayuda del MAPE.

Figura 40. Ajuste del modelo a la serie (ADZ)

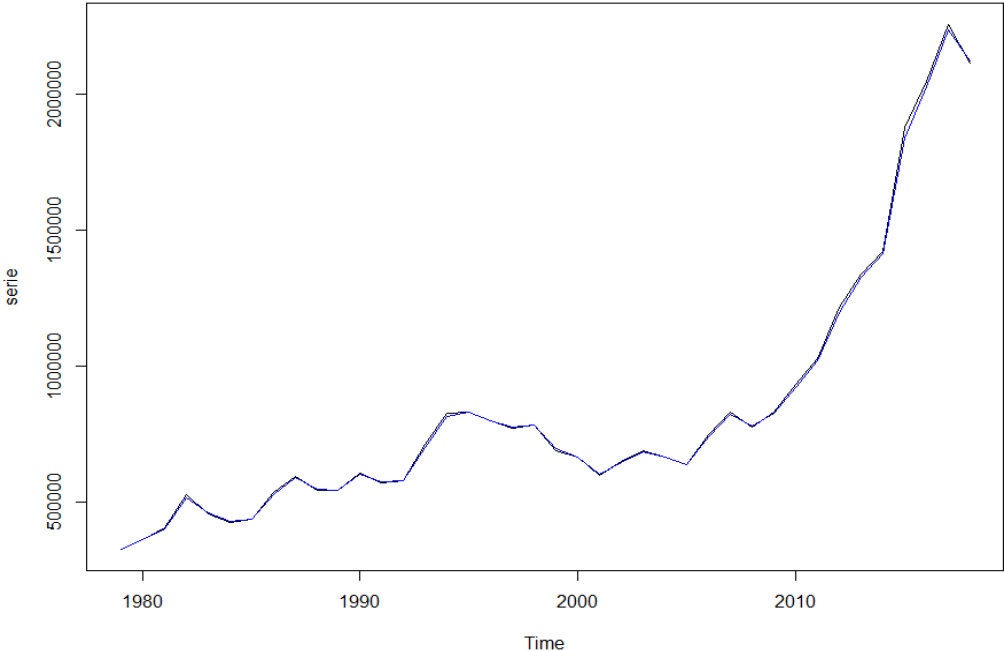


Figura 40. En el grafico se muestra como se ajusta el modelo a la serie. Millán, E. 2019. Recuperado de: R-studio

Figura 41. Pronostico a muy corto plazo MLD (ADZ)

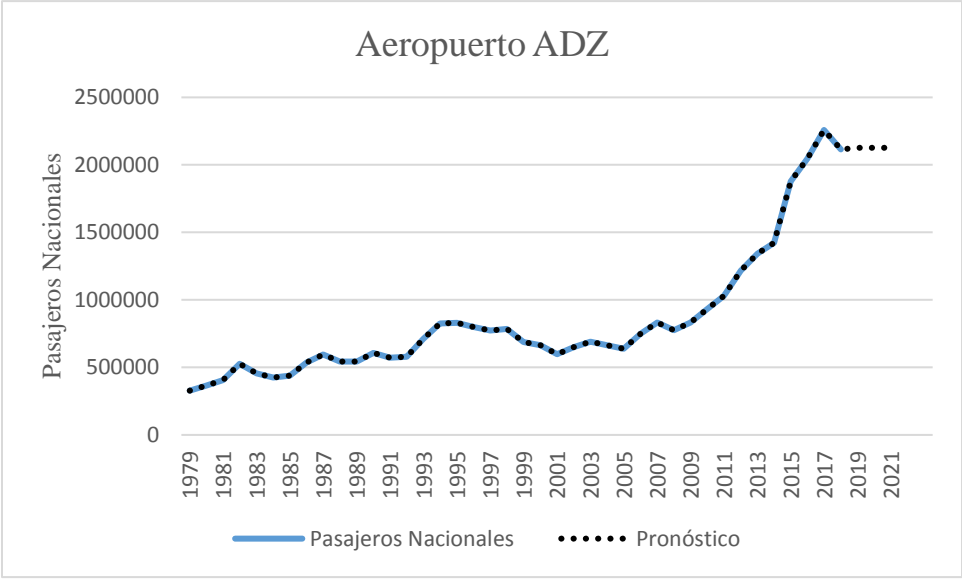


Figura 41. En el grafico se muestra la proyección de pasajeros a muy corto plazo entre el periodo de estudio de (2019-2021). Millán, E. 2019. Recuperado de: R-studio

Tabla 31. Valores principales del MLD (ADZ).

MLD - Aeropuerto (ADZ)				
Modelo	Pronóstico		MAPE	Variable
1	2018	2115377	0,11	Pax Nacionales
	2019	2125774		
	2020	2125774		
	2021	2125774		

Nota: En la tabla se muestran los valores principales del MLD para la serie analizada del aeropuerto ADZ. Millán, E. 2019. Adaptado de: R-studio.

Como se observa en la tabla anterior se especifican los valores de pronóstico arrojados por el modelo que se ajustó satisfactoriamente a la serie y el valor de MAPE obtenido fue de 11% (90% de nivel de confianza) el cual se encuentra cercano al valor aceptable y por tal razón se acepta, teniendo en cuenta que el nivel de confianza, o fiabilidad, del pronóstico en transporte aéreo debe ser igual o superior al 90%.

Aeropuerto internacional Ernesto Cortissoz – Barranquilla (BAQ)

Con ayuda del programa se analiza inicialmente que tan bueno es el ajuste del modelo a la serie original esto se observa en la siguiente figura y el cual se verifica con ayuda del MAPE.

Figura 42. Ajuste del modelo a la serie (BAQ)

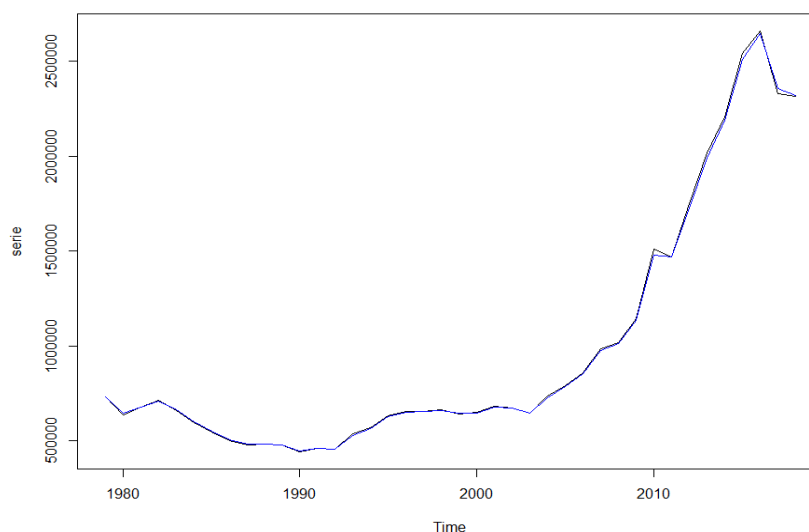


Figura 42. En el grafico se muestra como se ajusta el modelo a la serie. Millán, E. 2019. Recuperado de: R-studio

Figura 43. Pronostico a muy corto plazo MLD (BAQ)

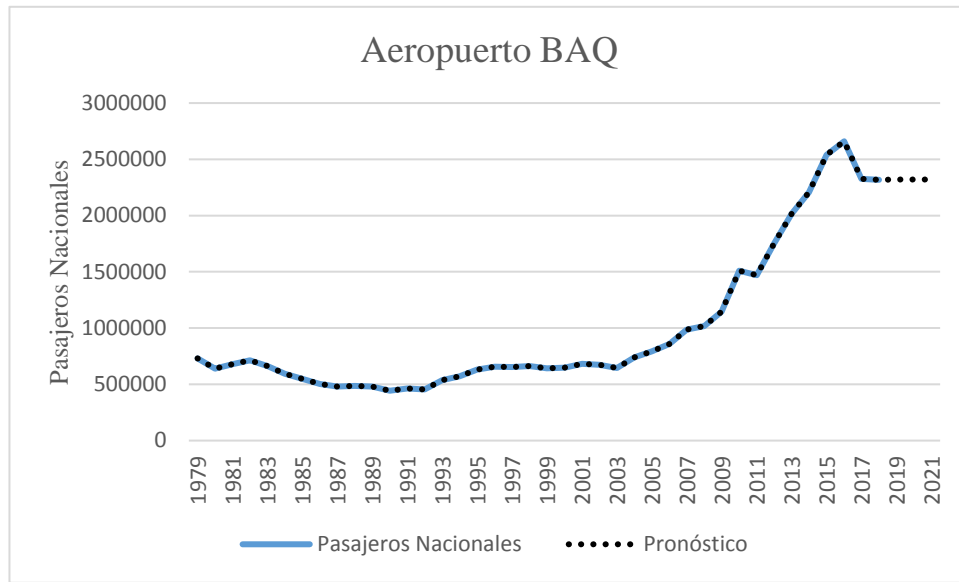


Figura 43. En el grafico se muestra la proyección de pasajeros a muy corto plazo entre el periodo de estudio de (2019-2021). Millán, E. 2019. Recuperado de: R-studio

Tabla 32. Valores principales del MLD (BAQ)

MLD - Aeropuerto (BAQ)				
Modelo	Pronóstico	MAPE	Variable	
1	2018	2317543	0,09	Pax Nacionales
	2019	2320636		
	2020	2320635		
	2021	2320635		

Nota: En la tabla se muestran los valores principales del MLD para la serie analizada del aeropuerto BAQ. Millán, E. 2019. Adaptado de: R-studio.

Como se observa en la tabla anterior se especifican los valores de pronóstico arrojados por el modelo que se ajustó satisfactoriamente a la serie y el valor de MAPE obtenido fue de 9% (90% de nivel de confianza) el cual se encuentra entre el valor aceptable, teniendo en cuenta que el nivel de confianza, o fiabilidad, del pronóstico en transporte aéreo debe ser igual o superior al 90%.

Aeropuerto internacional Rafael Núñez – Cartagena (CTG)

Con ayuda del programa se analiza inicialmente que tan bueno es el ajuste del modelo a la serie original esto se observa en la siguiente figura y el cual se verifica con ayuda del MAPE.

Figura 44. Ajuste del modelo a la serie (CTG)

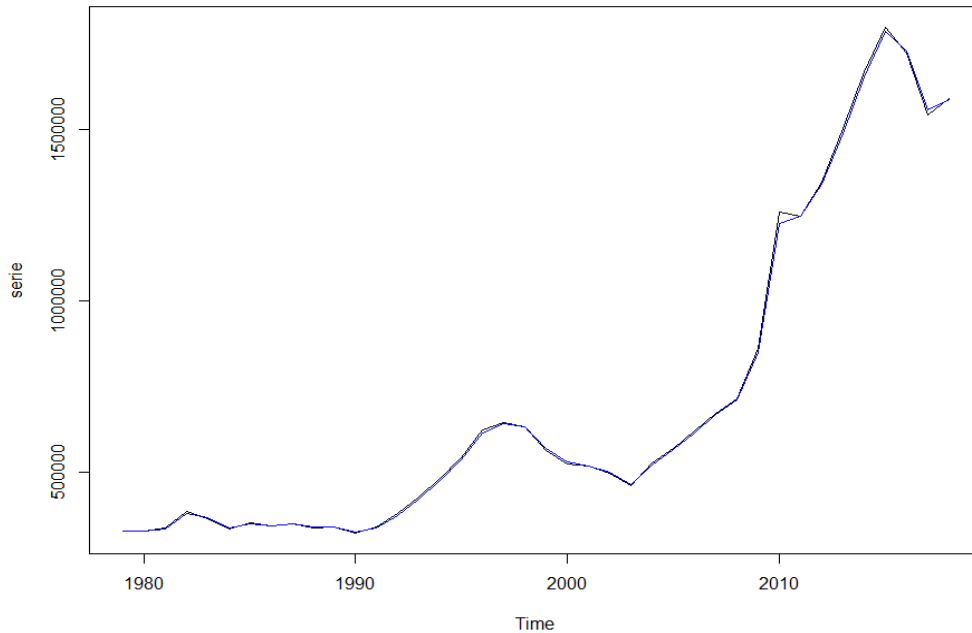


Figura 44. En el grafico se muestra como se ajusta el modelo a la serie. Millán, E. 2019. Recuperado de: R-studio

Figura 45. Pronostico a muy corto plazo MLD (CTG)

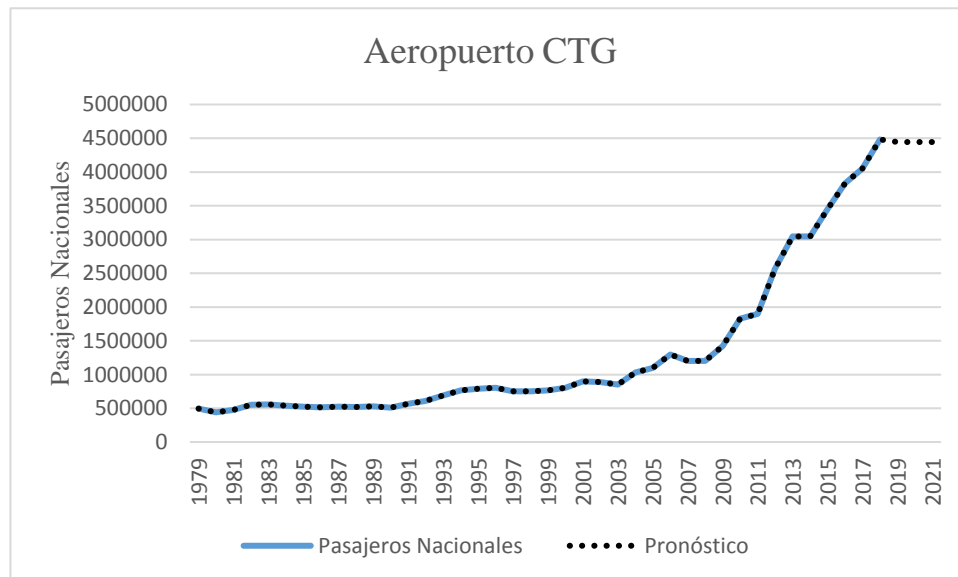


Figura 45. En el grafico se muestra la proyección de pasajeros a muy corto plazo entre el periodo de estudio de (2019-2021). Millán, E. 2019. Recuperado de: R-studio

Tabla 33. Valores principales del MLD (CTG)

MLD - Aeropuerto (CTG)				
Modelo	Pronóstico		MAPE	Variable
1	2018	4482482	0,10	Pax Nacionales
	2019	4444595		
	2020	4444594		
	2021	4444594		

Nota: En la tabla se muestran los valores principales del MLD para la serie analizada del aeropuerto CTG. Millán, E. 2019. Adaptado de: R-studio.

Como se observa en la tabla anterior se especifican los valores de pronóstico arrojados por el modelo que se ajustó satisfactoriamente a la serie y el valor de MAPE obtenido fue de 10% (90% de nivel de confianza) el cual se encuentra entre el valor aceptable, teniendo en cuenta que el nivel de confianza, o fiabilidad, del pronóstico en transporte aéreo debe ser igual o superior al 90%.

Aeropuerto internacional Palonegro– Bucaramanga (BGA)

Con ayuda del programa se analiza inicialmente que tan bueno es el ajuste del modelo a la serie original esto se observa en la siguiente figura y el cual se verifica con ayuda del MAPE.

Figura 46. Ajuste del modelo a la serie (BGA)

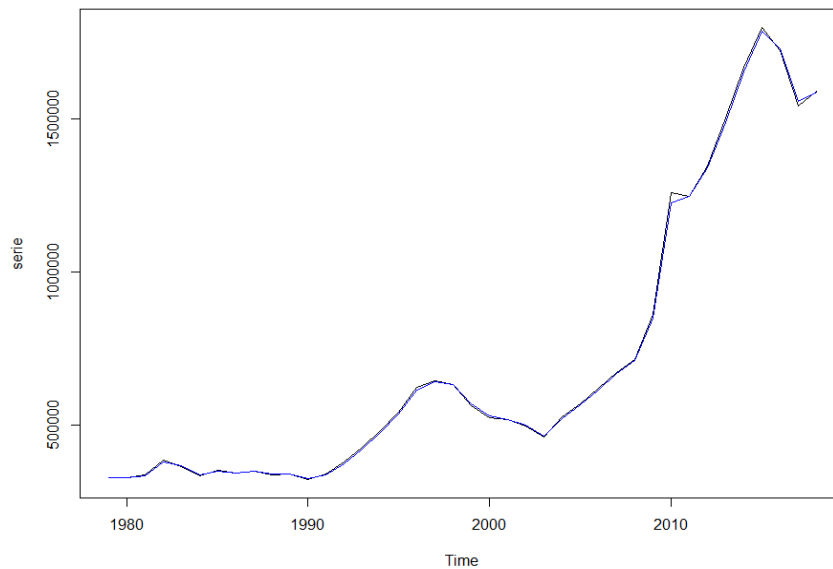


Figura 46. En el grafico se muestra como se ajusta el modelo a la serie. Millán, E. 2019. Recuperado de: R-studio

Figura 47. Pronostico a muy corto plazo MLD (BGA)

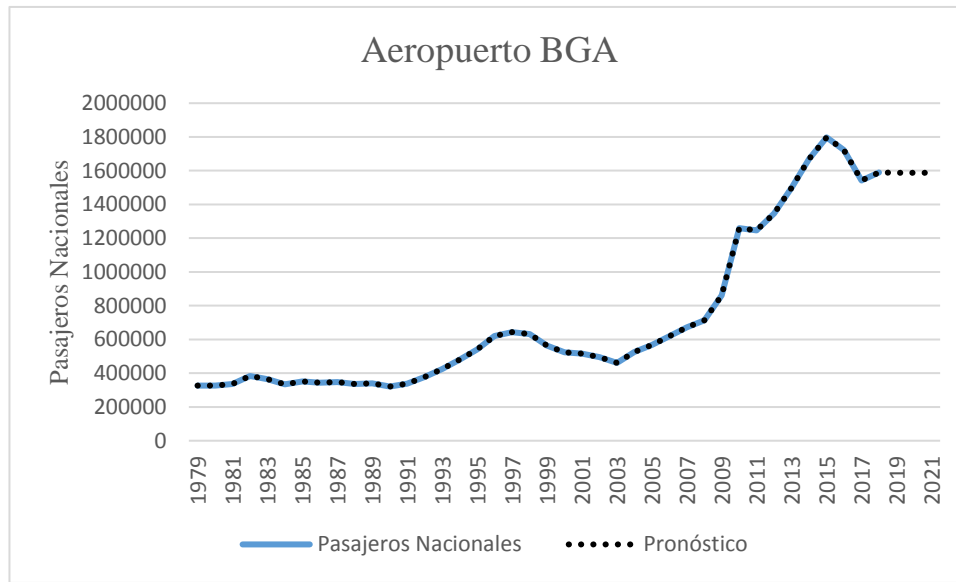


Figura 47. En el grafico se muestra la proyección de pasajeros a muy corto plazo entre el periodo de estudio de (2019-2021). Millán, E. 2019. Recuperado de: R-studio

Tabla 34. Valores principales del MLD (BGA)

MLD - Aeropuerto (BGA)				
Modelo	Pronóstico	MAPE	Variable	
1	2018	1590109	0,10	Pax Nacionales
	2019	1587319		
	2020	1587320		
	2021	1587319		

Nota: En la tabla se muestran los valores principales del MLD para la serie analizada del aeropuerto BGA. Millán, E. 2019. Adaptado de: R-studio.

Como se observa en la tabla anterior se especifican los valores de pronóstico arrojados por el modelo que se ajustó satisfactoriamente a la serie y el valor de MAPE obtenido fue de 10% (90% de nivel de confianza) el cual se encuentra entre el valor aceptable, teniendo en cuenta que el nivel de confianza, o fiabilidad, del pronóstico en transporte aéreo debe ser igual o superior al 90%.

Aeropuerto internacional Olaya Herrera– Medellín (EOH)

Con ayuda del programa se analiza inicialmente que tan bueno es el ajuste del modelo a la serie original esto se observa en la siguiente figura y el cual se verifica con ayuda del MAPE.

Esta serie es un caso particular puesto que esta no se adaptó al modelo ARIMA antes analizado.

Figura 48. Ajuste del modelo a la serie (EOH)

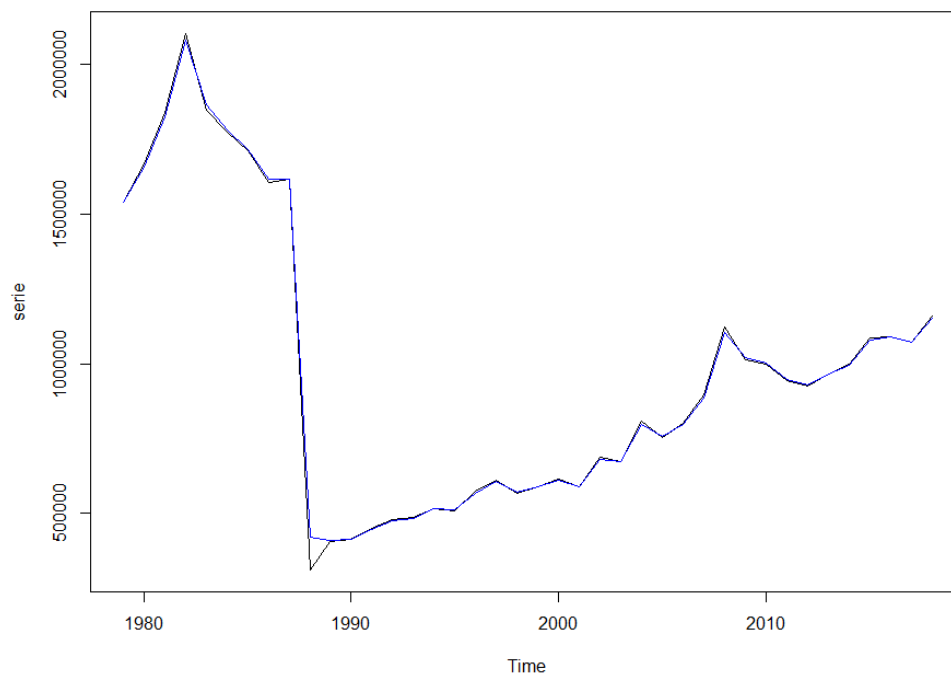


Figura 48. En el grafico se muestra como se ajusta el modelo a la serie. Millán, E. 2019. Recuperado de: R-studio

Figura 49. Pronostico a muy corto plazo MLD (EOH)

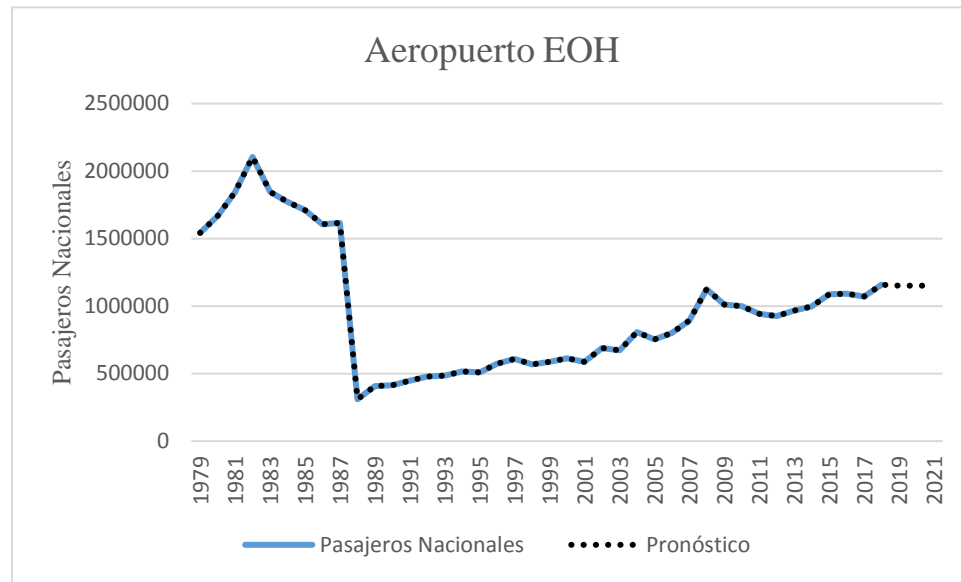


Figura 46. En el grafico se muestra la proyección de pasajeros a muy corto plazo entre el periodo de estudio de (2019-2021). Millán, E. 2019. Recuperado de: R-studio

Tabla 35. Valores principales del MLD (EOH)

MLD - Aeropuerto (EOH)				
Modelo	Pronóstico	MAPE	Variable	
1	2018	1158647	0,19	Pax Nacionales
	2019	1151385		
	2020	1151386		
	2021	1151386		

Nota: En la tabla se muestran los valores principales del MLD para la serie analizada del aeropuerto EOH. Millán, E. 2019. Adaptado de: R-studio.

Como se observa en la tabla anterior se especifican los valores de pronóstico arrojados por el modelo presenta un MAPE de 19% (90% de nivel de confianza) el cual no se encuentra entre el valor aceptable, teniendo en cuenta que el nivel de confianza, o fiabilidad, del pronóstico en transporte aéreo debe ser igual o superior al 90%; Esta serie es un caso particular debido al pico tan grande de decrecimiento que se presentaron entre los años (1986-1989) por la apertura y paso

de operaciones al aeropuerto de Rionegro, es una serie que presento algunas dificultades a la hora de ajustarse al modelo, pero se logró ajustar.

Aeropuerto internacional José María Córdoba – Rionegro (MDE)

Con ayuda del programa se analiza inicialmente que tan bueno es el ajuste del modelo a la serie original esto se observa en la siguiente figura y el cual se verifica con ayuda del MAPE.

Figura 50. Ajuste del modelo a la serie (MDE)

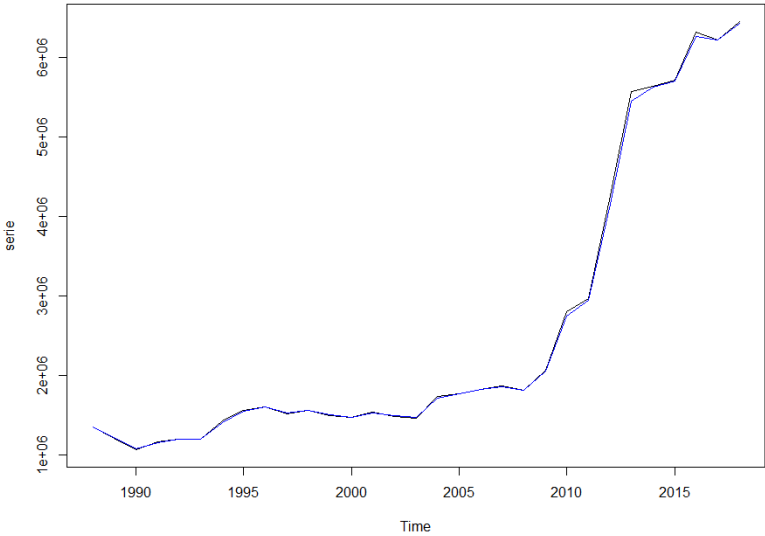


Figura 50. En el grafico se muestra como se ajusta el modelo a la serie. Millán, E. 2019. Recuperado de: R-studio

Figura 51. Pronostico a muy corto plazo MLD (MDE)

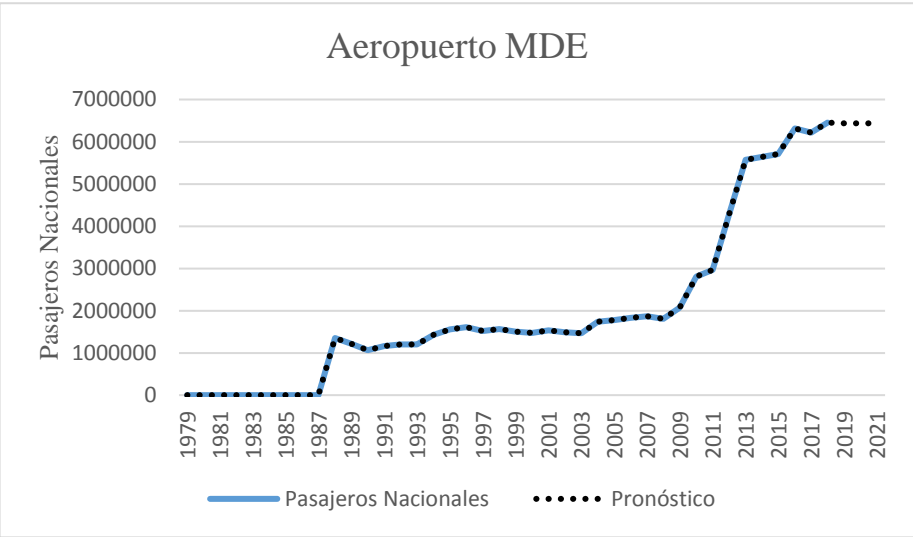


Figura 51. En el grafico se muestra la proyección de pasajeros a muy corto plazo entre el periodo de estudio de (2019-2021). Millán, E. 2019. Recuperado de: R-studio

Tabla 36. Valores principales del MLD (MDE)

MLD - Aeropuerto (MDE)				
Modelo	Pronóstico	MAPE	Variable	
1	2018	6452957	0,10	Pax Nacionales
	2019	6433596		
	2020	6433597		
	2021	6433596		

Nota: En la tabla se muestran los valores principales del MLD para la serie analizada del aeropuerto MDE. Millán, E. 2019. Adaptado de: R-studio.

Como se observa en la tabla anterior se especifican los valores de pronóstico arrojados por el modelo que se ajustó satisfactoriamente a la serie y el valor de MAPE obtenido fue de 10% (90% de nivel de confianza) el cual se encuentra entre el valor aceptable, teniendo en cuenta que el nivel de confianza, o fiabilidad, del pronóstico en transporte aéreo debe ser igual o superior al 90%.

Aeropuerto internacional Matecaña– Pereira (PEI)

Con ayuda del programa se analiza inicialmente que tan bueno es el ajuste del modelo a la serie original esto se observa en la siguiente figura y el cual se verifica con ayuda del MAPE.

Figura 52. Ajuste del modelo a la serie (PEI)

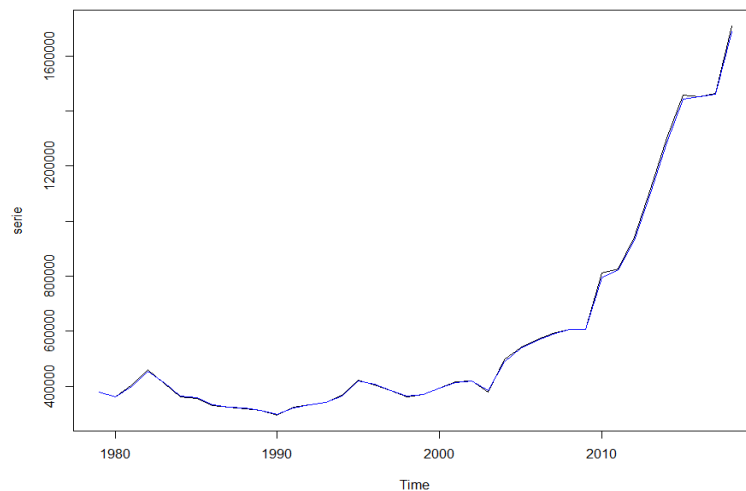


Figura 52. En el grafico se muestra como se ajusta el modelo a la serie. Millán, E. 2019. Recuperado de: R-studio

Figura 53. Pronostico a muy corto plazo MLD (PEI)

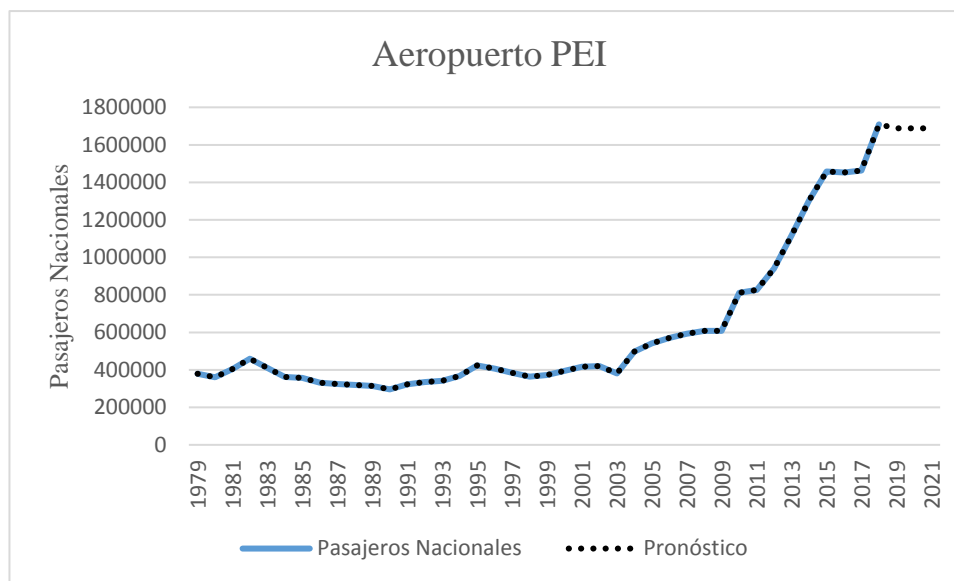


Figura 53. En el grafico se muestra la proyección de pasajeros a muy corto plazo entre el periodo de estudio de (2019-2021). Millán, E. 2019. Recuperado de: R-studio

Tabla 37. Valores principales del MLD (PEI)

MLD - Aeropuerto (PEI)				
Modelo	Pronóstico	MAPE	Variable	
1	2018	1708953	0,09	Pax Nacionales
	2019	1688189		
	2020	1688190		
	2021	1688190		

Nota: En la tabla se muestran los valores principales del MLD para la serie analizada del aeropuerto PEI. Millán, E. 2019. Adaptado de: R-studio.

Como se observa en la tabla anterior se especifican los valores de pronóstico arrojados por el modelo que se ajustó satisfactoriamente a la serie y el valor de MAPE obtenido fue de 9% (90% de nivel de confianza) el cual se encuentra entre el valor aceptable, teniendo en cuenta que el nivel de confianza, o fiabilidad, del pronóstico en transporte aéreo debe ser igual o superior al 90%.

Aeropuerto internacional Alfonso Bonilla Aragón – Cali (CLO)

Con ayuda del programa se analiza inicialmente que tan bueno es el ajuste del modelo a la serie original esto se observa en la siguiente figura y el cual se verifica con ayuda del MAPE.

Figura 54. Ajuste del modelo a la serie (CLO)

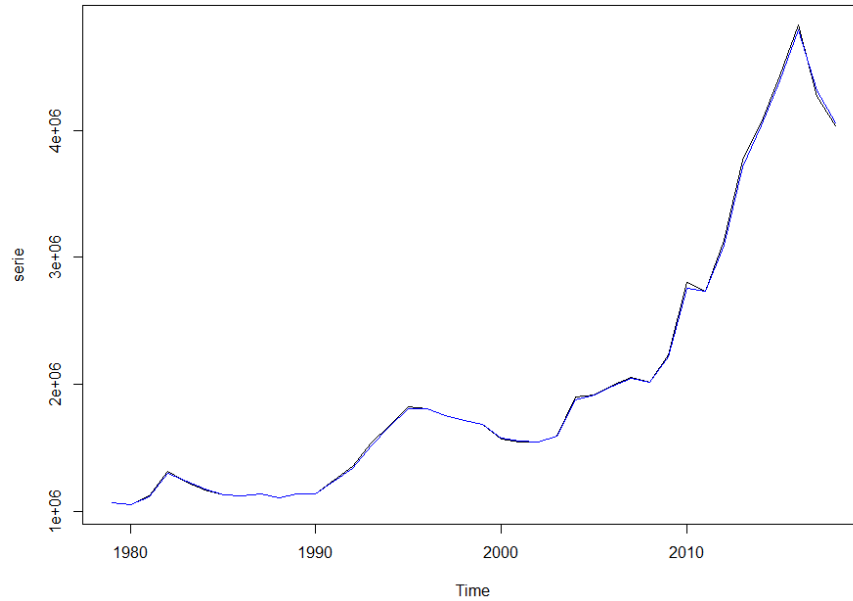


Figura 54. En el grafico se muestra como se ajusta el modelo a la serie. Millán, E. 2019. Recuperado de: R-studio

Figura 55. Pronostico a muy corto plazo MLD (CLO)

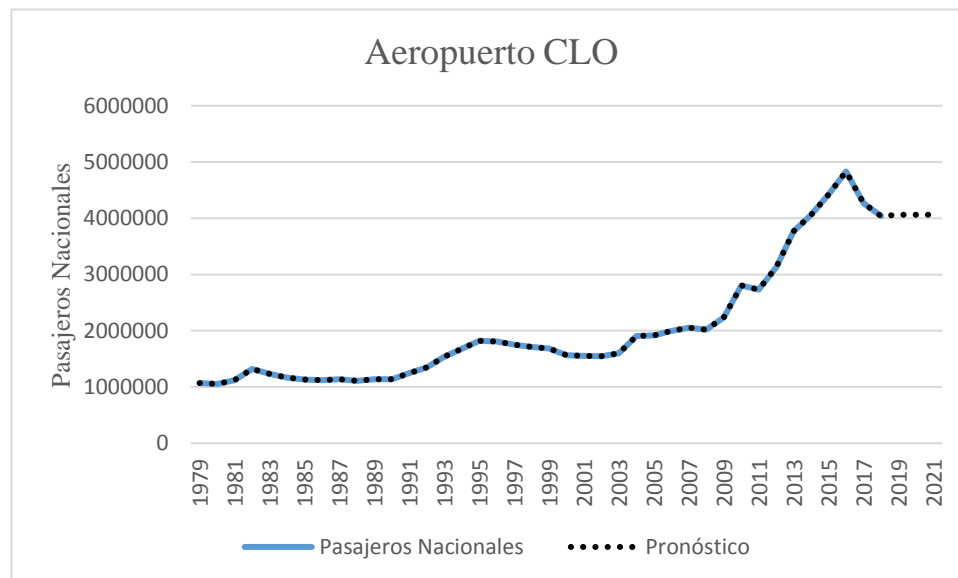


Figura 55. En el grafico se muestra la proyección de pasajeros a muy corto plazo entre el periodo de estudio de (2019-2021). Millán, E. 2019. Recuperado de: R-studio

Tabla 38. Valores principales del MLD (CLO)

MLD - Aeropuerto (CLO)				
Modelo	Pronóstico	MAPE	Variable	
1	2018	4036353	0,08	Pax Nacionales
	2019	4059301		
	2020	4059301		
	2021	4059301		

Nota: En la tabla se muestran los valores principales del MLD para la serie analizada del aeropuerto CLO. Millán, E. 2019. Adaptado de: R-studio.

Como se observa en la tabla anterior se especifican los valores de pronóstico arrojados por el modelo que se ajustó satisfactoriamente a la serie y el valor de MAPE obtenido fue de 8% (90% de nivel de confianza) el cual se encuentra entre el valor aceptable, teniendo en cuenta que el nivel de confianza, o fiabilidad, del pronóstico en transporte aéreo debe ser igual o superior al 90%.

Aeropuerto internacional Simón Bolívar– Santa Marta (SMR)

Con ayuda del programa se analiza inicialmente que tan bueno es el ajuste del modelo a la serie original esto se observa en la siguiente figura y el cual se verifica con ayuda del MAPE.

Figura 56. Ajuste del modelo a la serie (SMR)

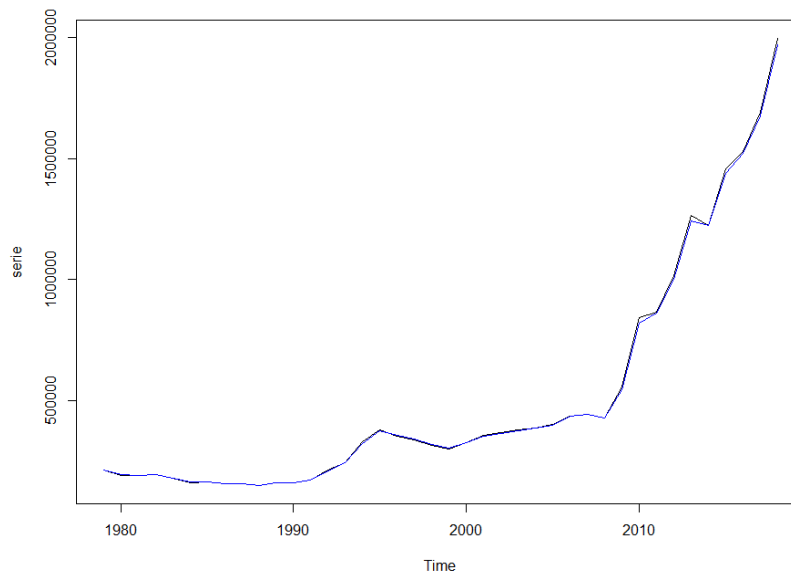


Figura 56. En el grafico se muestra como se ajusta el modelo a la serie. Millán, E. 2019. Recuperado de: R-studio

Figura 57. Pronostico a muy corto plazo MLD (SMR)

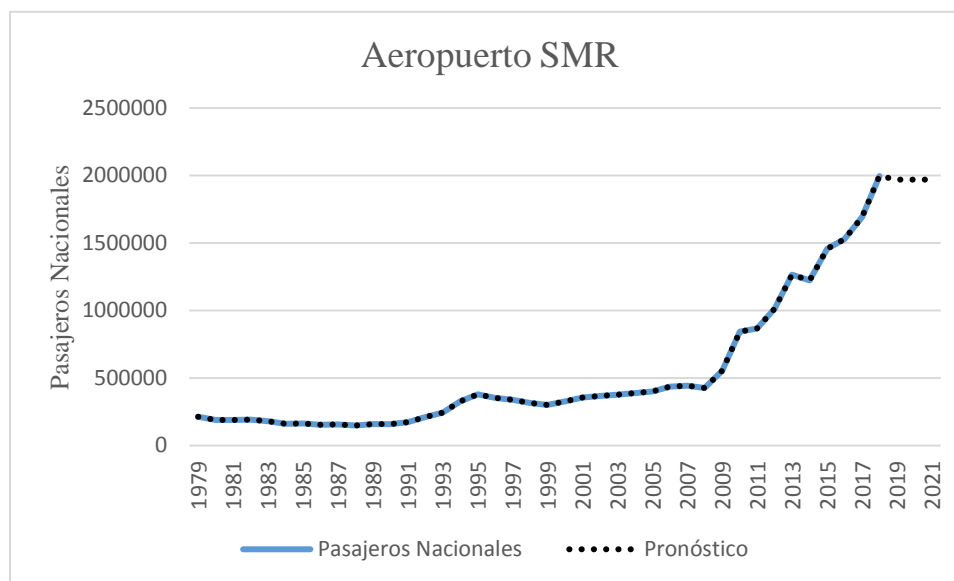


Figura 57. En el grafico se muestra la proyección de pasajeros a muy corto plazo entre el periodo de estudio de (2019-2021). Millán, E. 2019. Recuperado de: R-studio

Tabla 39. Valores principales del MLD (SMR)

MLD - Aeropuerto (SMR)				
Modelo	Pronóstico	MAPE	Variable	
1	2018	1996622	0,11	Pax Nacionales
	2019	1969810		
	2020	1969810		
	2021	1969810		

Nota: En la tabla se muestran los valores principales del MLD para la serie analizada del aeropuerto SMR. Millán, E. 2019. Adaptado de: R-studio.

Como se observa en la tabla anterior se especifican los valores de pronóstico arrojados por el modelo que se ajustó satisfactoriamente a la serie y el valor de MAPE obtenido fue de 11% (90% de nivel de confianza) el cual se encuentra cercano al valor aceptable y por tal razón se acepta, teniendo en cuenta que el nivel de confianza, o fiabilidad, del pronóstico en transporte aéreo debe ser igual o superior al 90%.

Resultados y análisis pasajeros Internacionales

El análisis para pasajeros internacionales solo se hace para estos cuatro aeropuertos que tienen dos aspectos en común, uno son catalogados como los más importantes de Colombia por número de pasajeros transportados y dos en importancia en cuanto a volumen de pasajeros anuales transportados.

Aeropuerto internacional José María Córdoba – Rionegro (MDE)

Con ayuda del programa se analiza inicialmente que tan bueno es el ajuste del modelo a la serie original esto se observa en la siguiente figura y el cual se verifica con ayuda del MAPE.

Figura 58. Ajuste del modelo a la serie (MDE)

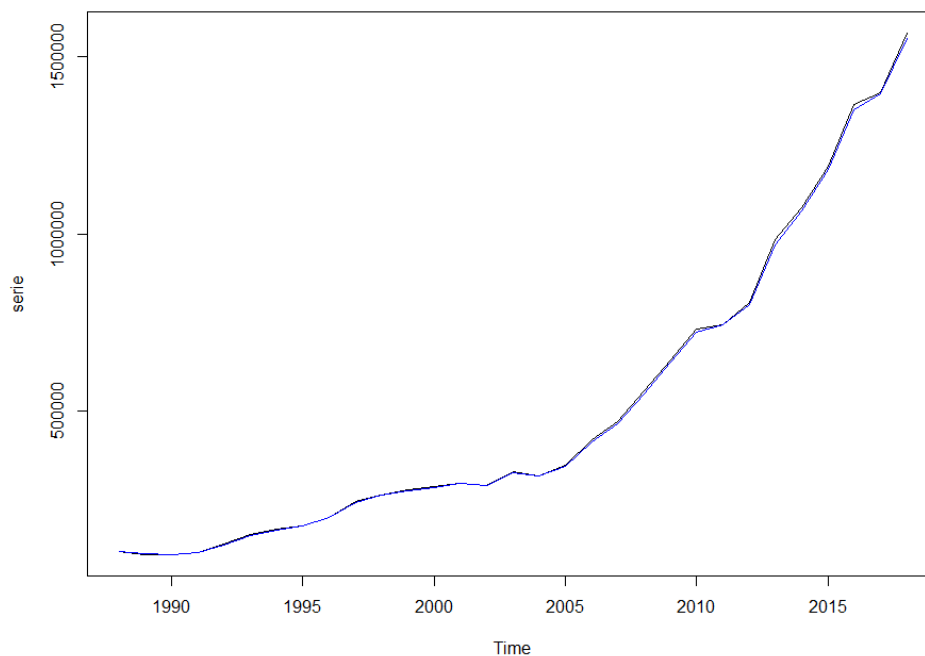


Figura 58. En el grafico se muestra como se ajusta el modelo a la serie. Millán, E. 2019. Recuperado de: R-studio

Figura 59. Pronostico a muy corto plazo MLD (MDE)

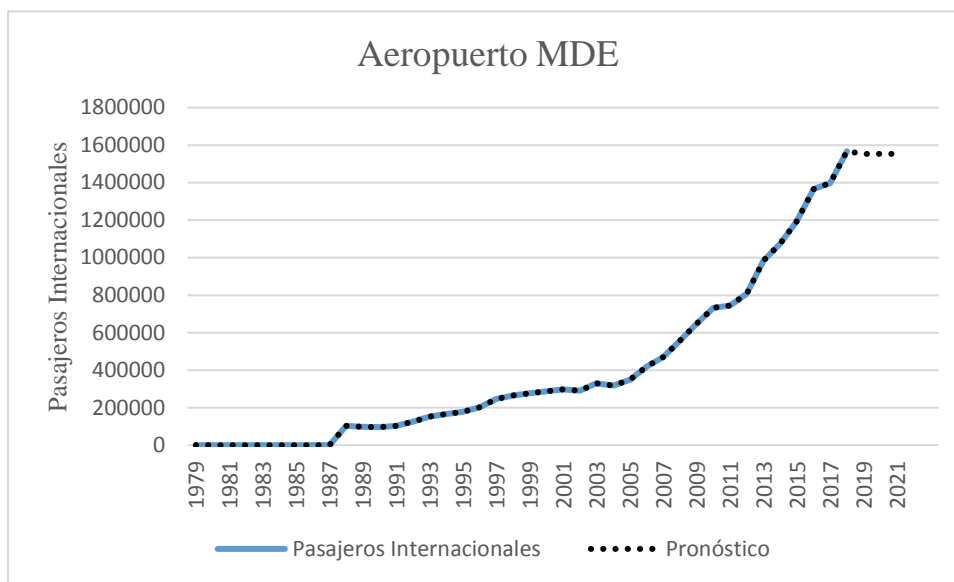


Figura 59. En el grafico se muestra la proyección de pasajeros a muy corto plazo entre el periodo de estudio de (2019-2021). Millán, E. 2019. Recuperado de: R-studio

Tabla 40. Valores principales del MLD (MDE)

MLD - Aeropuerto (MDE)				
Modelo	Pronóstico	MAPE	Variable	
1	2018	1567412	0,12	Pax Internacional
	2019	1552924		
	2020	1552923		
	2021	1552923		

Nota: En la tabla se muestran los valores principales del MLD para la serie analizada del aeropuerto MDE. Millán, E. 2019. Adaptado de: R-studio.

Como se observa en la tabla anterior se especifican los valores de pronóstico arrojados por el modelo que se ajustó satisfactoriamente a la serie y el valor de MAPE obtenido fue de 12% (90% de nivel de confianza) el cual se encuentra cercano al valor aceptable y por tal razón se acepta, teniendo en cuenta que el nivel de confianza, o fiabilidad, del pronóstico en transporte aéreo debe ser igual o superior al 90%.

Aeropuerto internacional Ernesto Cortissoz – Barranquilla (BAQ)

Con ayuda del programa se analiza inicialmente que tan bueno es el ajuste del modelo a la serie original esto se observa en la siguiente figura y el cual se verifica con ayuda del MAPE.

Figura 60. Ajuste del modelo a la serie (BAQ)

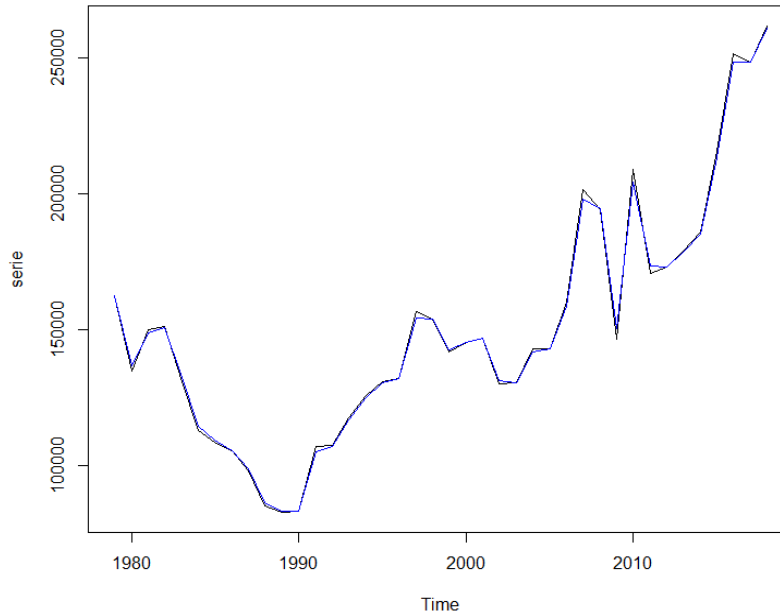


Figura 60. En el grafico se muestra como se ajusta el modelo a la serie. Millán, E. 2019. Recuperado de: R-studio

Figura 61. Pronostico a muy corto plazo MLD (BAQ)

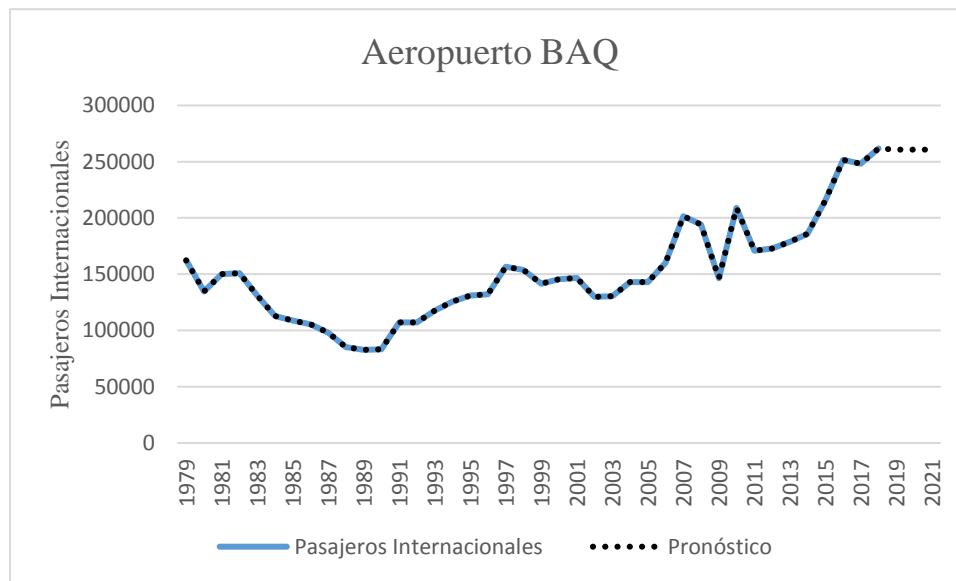


Figura 61. En el grafico se muestra la proyección de pasajeros a muy corto plazo entre el periodo de estudio de (2019-2021). Millán, E. 2019. Recuperado de: R-studio

Tabla 41. Valores principales del MLD (BAQ)

Modelo	MLD - Aeropuerto (BAQ)		MAPE	Variable
	Pronóstico			
1	2018	261751	0,11	Pax Internacional
	2019	260610.9		
	2020	260611		
	2021	260610.3		

Nota: En la tabla se muestran los valores principales del MLD para la serie analizada del aeropuerto BAQ. Millán, E. 2019. Adaptado de: R-studio.

Como se observa en la tabla anterior se especifican los valores de pronóstico arrojados por el modelo que se ajustó satisfactoriamente a la serie y el valor de MAPE obtenido fue de 11% (90% de nivel de confianza) el cual se encuentra cercano al valor aceptable y por tal razón se acepta, teniendo en cuenta que el nivel de confianza, o fiabilidad, del pronóstico en transporte aéreo debe ser igual o superior al 90%.

Aeropuerto internacional Rafael Núñez – Cartagena (CTG)

Con ayuda del programa se analiza inicialmente que tan bueno es el ajuste del modelo a la serie original esto se observa en la siguiente figura y el cual se verifica con ayuda del MAPE.

Figura 62. Ajuste del modelo a la serie (CTG)

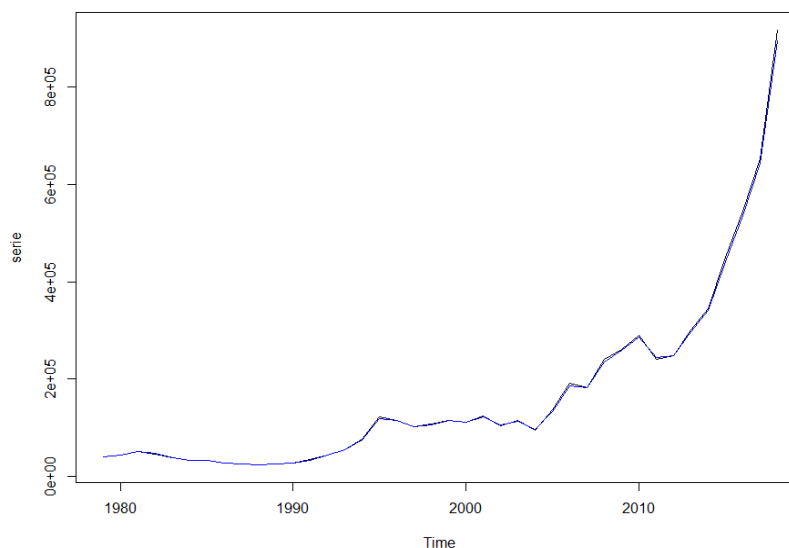


Figura 62. En el grafico se muestra como se ajusta el modelo a la serie. Millán, E. 2019. Recuperado de: R-studio

Figura 63. Pronostico a muy corto plazo MLD (CTG)

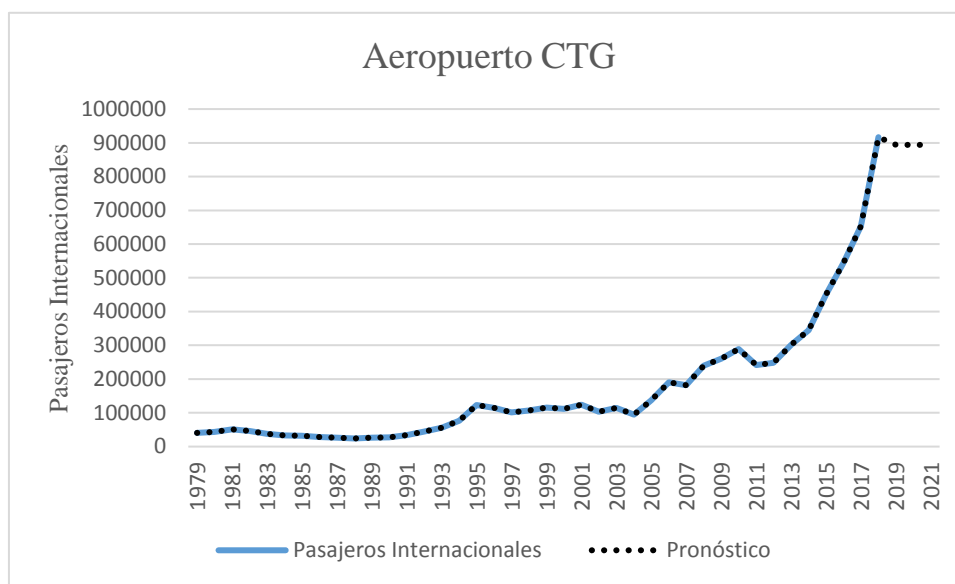


Figura 63. En el grafico se muestra la proyección de pasajeros a muy corto plazo entre el periodo de estudio de (2019-2021). Millán, E. 2019. Recuperado de: R-studio

Tabla 42. Valores principales del MLD (CTG)

MLD - Aeropuerto (CTG)				
Modelo	Pronóstico	MAPE	Variable	
1	2018	916635	0,17	Pax Internacional
	2019	893672.5		
	2020	893672.6		
	2021	893672.4		

Nota: En la tabla se muestran los valores principales del MLD para la serie analizada del aeropuerto ADZ. Millán, E. 2019. Adaptado de: R-studio.

Como se observa en la tabla anterior se especifican los valores de pronóstico arrojados por el modelo presenta un MAPE de 17% (90% de nivel de confianza) el cual no se encuentra entre el valor aceptable, teniendo en cuenta que el nivel de confianza, o fiabilidad, del pronóstico en transporte aéreo debe ser igual o superior al 90%; Esta serie es un caso particular debido a que en este aeropuerto se caracteriza por presentar irregularidades en las políticas tarifarias aeronáuticas muy altas las cuales fueron corregidas y este aspecto afecto la demanda notoriamente y presento algunas desigualdades en la serie de tiempo.

Aeropuerto internacional Alfonso Bonilla Aragón – Cali (CLO)

Con ayuda del programa se analiza inicialmente que tan bueno es el ajuste del modelo a la serie original esto se observa en la siguiente figura y el cual se verifica con ayuda del MAPE.

Figura 64. Ajuste del modelo a la serie (CLO)

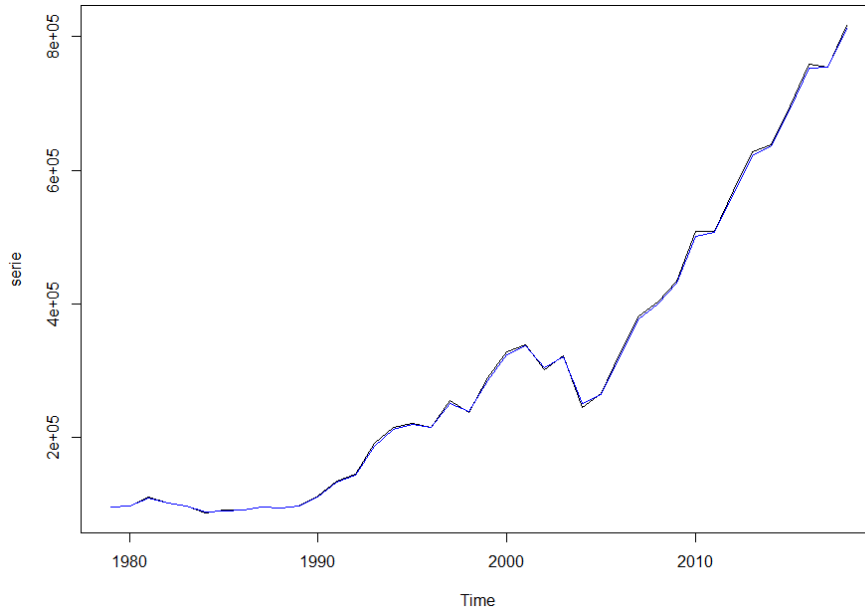


Figura 64. En el grafico se muestra como se ajusta el modelo a la serie. Millán, E. 2019. Recuperado de: R-studio

Figura 65. Pronostico a muy corto plazo MLD (CLO)

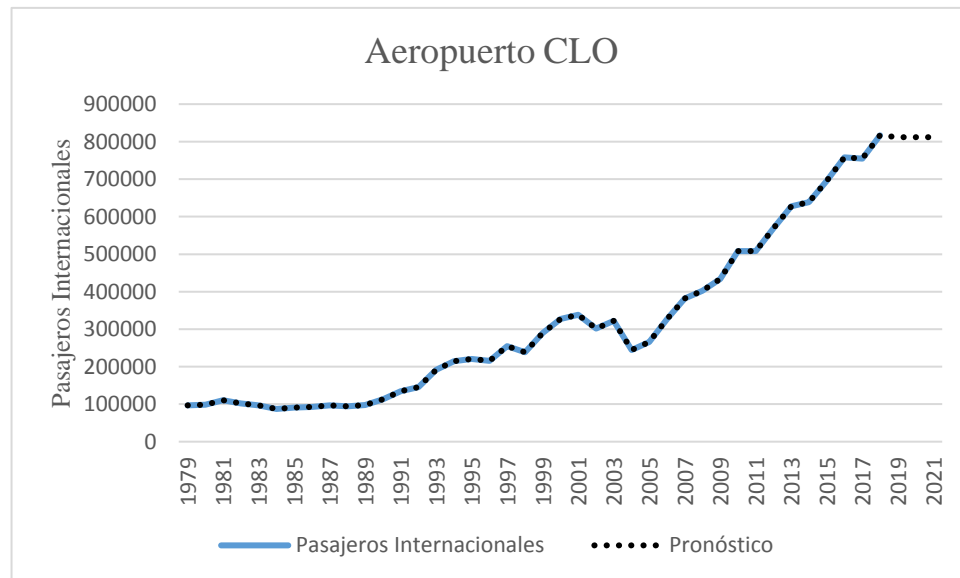


Figura 65. En el grafico se muestra la proyección de pasajeros a muy corto plazo entre el periodo de estudio de (2019-2021). Millán, E. 2019. Recuperado de: R-studio

Tabla 43. Valores principales del MLD (CLO)

MLD - Aeropuerto (CLO)				
Modelo		Pronóstico	MAPE	Variable
	2018	816921		
1	2019	811691	0,11	Pax Internacional
	2020	811691.9		
	2021	811691.5		

Nota: En la tabla se muestran los valores principales del MLD para la serie analizada del aeropuerto CLO. Millán, E. 2019. Adaptado de: R-studio.

Como se observa en la tabla anterior se especifican los valores de pronóstico arrojados por el modelo que se ajustó satisfactoriamente a la serie y el valor de MAPE obtenido fue de 11% (90% de nivel de confianza) el cual se encuentra cercano al valor aceptable y por tal razón se acepta, teniendo en cuenta que el nivel de confianza, o fiabilidad, del pronóstico en transporte aéreo debe ser igual o superior al 90%.

Conclusiones

- Como se mencionó al inicio los modelos manejarían dos tipos de variables, la variable de pasajeros (nacionales e internacionales) y las covariables económicas (PIB, PIB per cápita, población, etc.) pero en el proceso del proyecto solo se pudo implementar la primera de pasajeros, porque cuando se quisieron agregar las covariables a los modelos estas no fueron significativas, causando que no se diera cumplimiento a los criterios de confianza establecidos, teniendo como única variable respuesta el transporte de pasajeros únicamente.
- Es necesario y vital aumentar el histórico de datos (50 años o más), para poder implementar las covariables en los modelos analizados y en otros, ya que con el periodo de tiempo estudiado las covariables no son significativas en los modelos clásicos y en el modelo dinámico se aumenta el valor de confianza MAPE.
- El tema de la privatización y concesión de los aeropuertos juega un papel muy importante en el desarrollo del país, la evidencia se observa en cada análisis que se hizo a cada serie del proyecto; en el momento que se privatizan se garantizan mejoras y adecuaciones en la infraestructura aeroportuaria mostrando como resultado el crecimiento notorio de la demanda de pasajeros nacionales e internacionales, como lo afirma lo siguiente:

En esta línea, algunos estudios sugieren que los aeropuertos privatizados, es decir operado por una empresa privada, logran una mayor eficiencia operativa que los gestionados por el sector público (Oum et al., 2008). Y por otro lado, algunos estudios (Rolim et al., 2016) analizan la cuestión de la incidencia de la privatización del aeropuerto en la demanda de pasajeros. (Diaz Olariaga, Girón Amaya , & Mora Camino, 2017).

- En el desarrollo se presentó un caso particular con la serie del aeropuerto internacional Olaya Herrera de Medellín (EOH), para el modelo ARIMA se asignó un nivel de significancia del 10% (0,1) para el cual la serie no se ajustó al modelo clásico, por consiguiente surgió la necesidad de probar otro tipo de modelo en este caso el bayesiano o Modelo Lineal Dinámico que como se observa en la “Figura 48. Ajuste del modelo a la serie (EOH)” mostro que a pesar del decrecimiento tan grande en la serie original el modelo se logró ajustar a esta y se obtuvo un MAPE de 19% no es muy satisfactorio pero no está muy lejos del porcentaje de confianza establecido para el transporte aéreo, evidenciando la fiabilidad y dinamismo de este modelo.
- Al momento de comparar los resultados obtenidos de cada modelo se dedujo lo siguiente:
En el modelo ARIMA para la primera parte de pasajeros nacionales se presentan pronósticos de crecimiento buenos en la mayoría de los aeropuertos a excepción de los aeropuertos de Barranquilla y Cali que presentan decrecimiento por encontrarse en periodos de mejoraras y adecuaciones en su infraestructura y por las irregulares políticas tarifarias aeronáuticas altas; en segunda instancia se tienen los análisis de los aeropuertos para los pasajeros internacionales los cuales presentan proyecciones de crecimiento bueno y positivo para los años pronosticados.
En el modelo Lineal Dinámico los resultados también fueron positivos para los dos grupos de pasajeros analizados, cabe recalcar que el crecimiento en estos aeropuertos trato de mantenerse siempre en el mismo intervalo, la aplicación de este modelo presento valores de error de MAPE que oscilaban entre el 8-19% se obtuvieron dos valores altos pero no alejados del porcentaje de confianza establecido para el transporte aéreo, pero se concluye que estos valores se incrementaron por los casos particulares y generales mencionados en el documento para determinados aeropuertos analizados.

- La ventaja de cada modelo radica en como evidencia el proceso del cálculo de pronósticos, el modelo clásico ARIMA permite evidenciar un paso a paso y un trabajo puntual y muy detallado para calcular las proyecciones, mientras que el MLD presenta de manera directa las proyecciones la complejidad radica en la formulación del código de arranque.
- Se concluyó finalmente que a la hora de elegir entre los dos modelos aplicados para el proyecto, el modelo clásico (ARIMA) presento dificultades a la hora de trabajar con una serie que presentaba tendencia (no estacionaria) muy grande entre sus intervalos de tiempo como fue el caso particular del aeropuerto internacional Olaya Herrera de Medellín el cual no se logró adaptar a este, mientras que el modelo (LINEAL DINÁMICO) como su nombre lo recalca mostro dinamismo y fácil ajuste a las diferentes series analizadas, ambos evidenciaron su utilidad a la hora de pronosticar y su fiabilidad en los resultados de pronostico obtenidos.

Referencias

- Aerocivil. (2014). *Actualización del plan maestro del Aeropuerto Internacional El Dorado*. Bogotá: *Aeronáutica Civil de Colombia* . Obtenido de <http://www.aerocivil.gov.co>
- Aerocivil. (2014). *Reglamentos Aeronáuticos de Colombia*. Obtenido de Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil Oficina de Transporte Aéreo - Grupo de Normas Aeronáuticas: <http://www.aerocivil.gov.co/autoridad-de-la-aviacion-civil/reglamentacion/RAC/RAC%20%2014%20-%20Aer%C3%B3dromos,%20%20Aeropuertos%20y%20Helipuertos.pdf>
- BARAJAS, L. E. (2019). *5. Modelos dinámicos*. Obtenido de itam (Excelencia educativa): http://allman.rhon.itam.mx/~lnieto/index_archivos/NotasRA5.pdf
- Bermúdez, D. (2017). *Modelos dinámicos dinámicos- Aplicaciones con R*. Bogotá: Copyright.
- Brockwell, P., & Davis, R. (2002). *Introduction to Time Series and Forecasting, Second Edition*. New York: Springer.
- Colprensa. (Diciembre de 2017). *¿Por qué los tiquetes aéreos siguen 'por las nubes'? responde la Aerocivil*. Obtenido de Colprensa: <https://www.eluniversal.com.co/colombia/por-que-los-tiquetes-aereos-siguen-por-las-nubes-responde-la-aerocivil-268726-GCEU382554>
- Diaz Olariaga, O., Girón Amaya , E., & Mora Camino, F. (Octubre de 2017). *Pronóstico de la demanda de pasajeros en aeropuertos privatizados . Artículo(Paper)*. Universidad Santo Tomas.
- Dirección nacional de aduanas. (s.f.). *Código Aduanero*. Obtenido de <https://www.aduanas.gub.uy/innovaportal/v/2778/8/innova.front/trafico-aereo.html>
- El Tiempo. (02 de Febrero de 2018). *Entregaron obras de ampliación de aeropuerto de Bucaramanga*. Bucaramanga : El Tiempo .
- Franco Topper , J. (09 de Septiembre de 2015). *El futuro del aeropuerto Alfonso Bonilla Aragón*. Obtenido de Aviacol: <https://www.aviacol.net/noticias>
- Gil, M. B. (2013). *El transporte aéreo*. Obtenido de Universidad Politécnica de Valencia: <https://ingenieriaaeroportuaria.blogs.upv.es/2013/02/08/tema-1-el-transporte-aereo/>
- halweb. (2019). *Series Temporales*. Obtenido de <http://halweb.uc3m.es/esp/Personal/personas/jmmarin/esp/EDescrip/tema7.pdf>
- Hernández, M. S. (Enero de 2015). *Análisis de Series de Tiempo*. Obtenido de Tema II: Los modelos ARIMA univariantes: https://www.cepal.org/sites/default/files/courses/files/01_2_arima.pdf
- López, A. M., Flores, M., & Sánchez, J. (2017). *Estudios de economía aplicada*. Obtenido de Modelos de series temporales aplicados a la predicción del tráfico aeroportuario español de pasajeros: Un enfoque agregado y desagregado: <file:///C:/Users/prsala401/Downloads/Dialnet-ModelosDeSeriesTemporalesAplicadosALaPrediccionDel-6003250.pdf>

- López, C. M. (Marzo de 2018). *Análisis de series temporales con R (II): Estacionariedad y raíces unitarias*. Obtenido de FinanzasZone: <http://finanzaszone.com/analisis-y-prediccion-de-series-temporales-con-r-ii-estacionariedad-y-raices-unitarias/>
- Morales, C. (20 de Octubre de 2017). *Huelga de pilotos de Avianca, la más larga del gremio en la historia*. Obtenido de El Tiempo : <https://www.eltiempo.com/economia/sectores/huelga-de-pilotos-de-avianca-su-historia-consecuencias-y-legalidad-143082>
- Novalés, A. (2016). *Series temporales. Estacionariedad, raíces unitarias*. Obtenido de Departamento de Economía Cuantitativa: <https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-41459/Series%20temporales.pdf>
- Olariaga, O. D. (2017). Políticas de privatización de aeropuertos, el caso de Colombia. *Artículo* . Obtenido de <https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar/publicaciones/index.php/DocumentosyAportes/article/view/7093/10334>
- Pillajo, C., & Sierra, J. E. (Diciembre de 2014). *El filtro de Kalman*. Obtenido de <https://carlospillajo.files.wordpress.com/2014/12/el-filtro-de-kalman-revcp.pdf&ved>
- Prado Obando, G. (2005). *Técnicas recursivas para estimación dinámica una introducción matemática al filtro Kalman*. Obtenido de http://www.konradlorenz.edu.co/images/stories/suma_digital_matematicas/Trabajo_Grado_Guillermo_Prado_613003.pdf
- 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* . Bogotá.
- Ravines, R. R. (Marzo de 2007). *Análisis de Series de Tiempo con Modelos Dinámicos*. Obtenido de Numerica (Desarrollo Tecnológico y social): <dme.ufrj.br/romy-file:///C:/Users/Compaq/Downloads/mld.pdf>
- Rosales, R., Delgado, W., Vasquez, C. J., & Marino, D. (2008). *Econometría 2: Metodología box – jenkins*. Obtenido de Universidad: https://economia.uniandes.edu.co/files/profesores/ramon_rosales_alvarez/docs/econometria2/Salidas%20y%20Ejercicios/EJC202220Metodologia20Box20-20Jenkins.pdf
- Sánchez Naranjo, M. J., & García-Martos, C. (2012). *Series Temporales Univariantes*. Obtenido de Politécnica, Industriales ETSSI | UPM: http://www.etsii.upm.es/ingor/estadistica/Carol/SeriesUNIV_MIO_MP.pdf
- Universidad politécnica de Madrid. (2019). *PREVISIONES DE TRÁFICO*. Obtenido de <https://www.studocu.com/es/u/2437252>

Anexos

Anexo 1. Tipo de aviones que operan en cada aeropuerto

Aeropuerto	ADZ	BAQ	BGA	CTG	EOH	MDE	PEI	CLO	SMR
Tipo de Avión	Airbus A320	Airbus A318	ATR 42-600	Airbus A320	Airbus A319	Airbus A319	Airbus A320	Airbus A321	Airbus A320
	Airbus A321	ATR 42	Airbus A320	Airbus A319	Airbus A321	Airbus A321	ATR 42 / ATR	Embraer 190	Airbus A318
	Embraer 190	ATR 72		Airbus A321	Airbus A320	Boeing 737-700	Airbus A319	Airbus A319	
		Airbus A321		Boeing 787-9	Boeing 737-700	Airbus A320	Embraer 190	Airbus A320	
		Airbus A320		Embraer 190		Airbus A318	Airbus A318	ATR 42 / ATR 72	
		Airbus A319				Boeing 737-800	Airbus A321	Boeing 737-800	
		Airbus A318					Boeing 787-8		
Envergadura	35,8 m	34,10 m	25 m	35,8 m	35,8 m	35,8 m	35,8 m	35,8 m	35,8 m
	35,8 m	24,57 m	35,8 m	35,8 m	35,8 m	35,8 m	24,57 m	28,72 m	34,10 m
	28,72 m	24,57 m		35,8 m	35,8 m	35,7 m	35,8 m	35,8 m	
		35,8 m		60 m	35,7 m	35,8 m	28,72 m	35,8 m	
		35,8 m		28,72 m		34,10 m	34,10 m	24,57 m	
		35,8 m				35,7 m	35,8 m	35,7 m	
	34,10 m						34,10 m		
							60 m		
Clave de referencia	3	3	3	3-4	3	3	3	3-4	3

Nota: En esta tabla se muestran los tipos de aviones que operan en cada aeropuerto y se verifica que cumplan con la clave de referencia que establece la Aerocivil para ser considerados aeródromos internacionales (3-4). Millán, E.19 de agosto de 2019. Adaptado de: <https://www.aeropuertos.net>.

Anexo 2. Cuadro resumen de los modelos implementados para el análisis de los aeropuertos regionales colombianos

Nº	Aeropuertos	Ciudad	Variables Pronosticadas	Modelo ARIMA			Modelo Lineal Dinámico					
				Criterio			Observaciones	Criterio			Observaciones	
				Nivel significativo	Si	No		MAPE	Si	No		Valor de MAPE
PAX NACIONALES												
1	I. Gustavo Rojas Pinilla	San Andrés	Pax Nacionales y Pax Internacionales	≤ 10 % (0,1)	x		Ninguna	≥ 90 % (0,9)	x		11%	Es tomado como valor valido por encontrarse cercano al valor del criterio aceptable.
2	I. Ernesto Cortissoz	Barranquilla		≤ 10 % (0,1)	x		Ninguna	≥ 90 % (0,9)	x		9%	Ninguna
3	I. Rafael Nuñez	Cartagena		≤ 10 % (0,1)	x		Ninguna	≥ 90 % (0,9)	x		10%	Ninguna
4	I. Palonegro	Bucaramanga		≤ 10 % (0,1)	x		Ninguna	≥ 90 % (0,9)	x		10%	Ninguna
5	I. Olaya Herrera	Medellin		≤ 10 % (0,1)		x	Este es un caso patricular en cual la serie original presenta decrecimientos muy notorios, por ende seria necesario un historico de datos de 10 a 15 años que ayude a disipar estos picos de caidas, pero la Aeronautica civil no dispone de estos.	≥ 90 % (0,9)		x	19%	Es necesario un mayor historico de datos de 10 a 15 años mas, pero la Aeronautica civil no dispone de estos.
6	I. José María Córdoba	Rionegro		≤ 10 % (0,1)	x		Ninguna	≥ 90 % (0,9)	x		10%	Ninguna
7	I. Matecaña	Pereira		≤ 10 % (0,1)	x		Ninguna	≥ 90 % (0,9)	x		9%	Ninguna
8	I. Alfonso Bonilla Aragón	Cali		≤ 10 % (0,1)	x		Ninguna	≥ 90 % (0,9)	x		8%	Ninguna
9	I. Simón Bolívar	Santa Marta		≤ 10 % (0,1)	x		Ninguna	≥ 90 % (0,9)	x		11%	Es tomado como valor valido por encontrarse cercano al valor del criterio aceptable.
PAX INTERNACIONALES												
				Criterio			Observaciones	Criterio			Observaciones	
				Nivel significativo	Si	No		MAPE	Si	No		Valor de MAPE
1	I. José María Córdoba	Rionegro		≤ 10 % (0,1)	x		Ninguna	≥ 90 % (0,9)	x		12%	Es tomado como valor valido por encontrarse cercano al valor del criterio aceptable.
2	I. Ernesto Cortissoz	Barranquilla		≤ 10 % (0,1)	x		Ninguna	≥ 90 % (0,9)	x		11%	Es tomado como valor valido por encontrarse cercano al valor del criterio aceptable.
3	I. Rafael Nuñez	Cartagena		≤ 10 % (0,1)	x		Ninguna	≥ 90 % (0,9)		x	17%	Es necesario un mayor historico de datos de 10 a 15 años mas, pero la Aeronautica civil no dispone de estos.
4	I. Alfonso Bonilla Aragón	Cali		≤ 10 % (0,1)	x		Ninguna	≥ 90 % (0,9)	x		11%	Es tomado como valor valido por encontrarse cercano al valor del criterio aceptable.

Nota: En esta tabla se muestran los resultados obtenidos y resumidos para los aeropuertos analizados. Millán, E. 04 de Noviembre de 2019. Adaptado de: Excel

