



UNIVERSIDAD DE PANAMÁ

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y TECNOLOGÍA

ESCUELA DE ESTADÍSTICA

**“MODELO DE PRONÓSTICO PARA EL NÚMERO DE CONTENEDORES
IMPORTADOS, REGISTRADOS EN LA AUTORIDAD MARÍTIMA DE PANAMÁ,
AÑO: 2010-2020”**

PROFESOR(A) ASESOR(A): CLARA ELENA CRUZ

ELABORADO POR:

JESMERI SQUIRES DE AMAYA

**PROYECTO DE TESIS PRESENTADO
PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE LA
LICENCIATURA EN INGENIERÍA
ESTADÍSTICA.**

AÑO 2022

Comité evaluador

Asesora: Clara Elena Cruz

Jurado 1: Aurora Mejía

Jurado 2: Anabel Ramírez

Dedicatoria

Este trabajo de tesis de grado es dedicado a mi madre, Aura Rosa de Molina, quien ha sido la persona que se ha esforzado, día tras día, con noches de desvelos, por alcanzar que su hija culmine sus estudios universitarios.

Por esta y muchas más razones madre, te dedico este logro, que por ti y para ti lo he hecho.

Agradecimiento

Al culminar este trabajo, quiero utilizar este espacio para agradecer a Dios, Padre; y a mi Señor, Jesucristo, por la mente renovada que me ha dado y la capacidad para poder alcanzar este logro, que ha sido gracias a él.

Al Director de la Escuela de Estadísticas, Gonzalo Carrasco, le doy muchísimas gracias por haber aceptado la prórroga para presentar mi proyecto de tesis.

Agradezco a mi profesora: Clara Cruz, por su dedicación y paciencia a la hora de asesorarme para este estudio.

Muy agradecida con mi compañero, Aldemar Perea, quien inicialmente fue mi compañero de tesis, pero por diversos motivos no pudo sustentar. Gracias por tu gran aporte en este trabajo.

También hago mención de mis hermanos en Cristo, la flia. Trujillo, quienes me han motivado y apoyado desde un principio en la realización de este proyecto.

Además, agradezco a la jefa de área de estadísticas generales de la AMP, Ángela M. Chávez de Ábrego; a el asistente de estadística de la AMP, Carlos Burbano Murillo, por su buena disposición para proveer la información estadística necesaria para la elaboración de este proyecto.

Finalmente, hago un reconocimiento a cada uno de los profesores que me han instruido a lo largo de esta carrera, pues gracias a ellos, hoy puedo contar con el conocimiento estadístico que poseo.

ÍNDICE

Introducción.....	7
Capítulo I. Aspectos generales.....	8
1.1 Planteamiento del problema	8
1.2 Objetivo general	8
1.3 Objetivos específicos.....	8
1.4 Hipótesis.....	9
1.5 Alcance del trabajo	9
1.6 Limitaciones	9
1.7 Justificación.....	10
Capítulo II. Marco teórico	11
2.1 Autoridad Marítima de Panamá	11
2.1.1 Misión y Visión de la AMP	11
2.1.2 Sistema Portuario.....	11
2.1.3 Terminal de contenedores.....	12
2.1.4 Área de estadísticas generales	12
2.2 Contenedores	13
2.2.1 Terminal de contenedores.....	13
2.2.1.1 Contenedores de exportación.....	13
2.2.1.2 Contenedores de Importación.....	13
2.2.2 Clasificación de contenedores marítimos.....	14
2.2.2.1 El ciclo del contenedor	14
2.2.3 Carga y descarga de contenedores	14
2.2.4 Carga y descarga de mercancías	14
2.2.5 Logística y transporte de mercancías	15
2.2.6 Sistemas de almacenamiento	16
2.2.7 Gestión portuaria.....	16
2.2.8 Sistema de transporte de carga	16
2.2.9 Terminal portuaria de contenedores	16
2.2.9.1 Descarga o carga de buques.....	17

2.2.9.2 Almacenamiento temporal de mercancías.....	17
2.2.9.3 Cambio de modo transporte.....	17
2.3 Modelo ARIMA	18
2.3.1 Concepto.....	18
2.3.2 Expresión y objetivos.	18
2.3.3 Consideraciones generales.....	19
2.3.4 Etapas en la elaboración de un modelo ARIMA	19
2.3.5 Modelos Puramente Estacionales SARIMA (P,D,Q).	24
2.4 Metodología Box y Jenkins.....	25
2.4.1 Enfoque del método	25
2.4.2 Identificación del modelo Box y Jenkins.....	25
2.4.3 Identificar p y q.....	26
2.4.4 Diagramas de autocorrelación simple y autocorrelación parcial	27
2.4.5 Modelo de estimación de Box y Jenkins	27
2.5 Ruido blanco	28
2.6 Box - Ljung	28
2.7 Revisión de estudios similares en otros países.....	29
Capítulo III. Marco metodológico.....	31
3.1 Tipo de investigación.....	31
3.2 Método de recolección de datos.....	31
3.3 Definición de variable de estudio.....	31
3.4 Análisis estadísticos utilizados	32
3.5 Procedimientos.....	32
Capítulo IV Presentación y análisis de los resultados	34
4.1. Identificación del modelo.	34
4.1.1. Análisis descriptivo de la serie de tiempo.....	34
4.1.2. Transformación de la serie.....	38
4.1.3. Validación de la serie estacionaria.....	39
4.1.4. Validación de homocedasticidad.....	41
4.1.5. Identificación de los parámetros (p,d,q) del modelo ARIMA.....	41
4.2. Estimación del modelo ARIMA.	44
4.3. Validación del modelo ARIMA.	45

4.4. Predicción y Evaluación de la capacidad del modelo predictivo.....	52
4.4.1. Ecuación de pronóstico.....	56
Conclusión.....	57
Recomendaciones.....	58
Referencias	59
Anexos	61
Glosario	65

Introducción

El siguiente estudio que lleva por título “Modelo de pronóstico para el número de contenedores importados, registrados en la Autoridad Marítima de Panamá, Año:2010-2020”, dará a conocer a la Autoridad Marítima de Panamá (AMP), el comportamiento del tránsito de contenedores importados en base a un incremento o disminución del mismo. Mostrará a la AMP, lo fundamental que es contar con un modelo de pronóstico para conocer a futuro cuál será la situación del tránsito de contenedores en Panamá; y así, poder tomar las decisiones o medidas pertinentes.

La República de Panamá, es un punto estratégico para el transporte de contenedores hacia América Latina por medio acuático; ya que, ofrece una ruta de tránsito más económica y rápida; en un recorrido de 80 kilómetros y aproximadamente 8 a 10 horas de tránsito para los buques entre el Atlántico y el Pacífico por el Canal de Panamá.

El Canal de Panamá, es la principal actividad económica del país, el cual supone un aporte del 6,8% del Producto Interno Bruto (PIB) (Zegarra Méndez, 2017). Debido a que el tránsito de buques es tan relevante para el país, es de suma importancia que el ente encargado de la administración de puertos nacionales, la Autoridad Marítima de Panamá (AMP), establezca estrategias y acciones que puedan impulsar y mejorar sus planes estratégicos. La estrategia que se propone es un modelo de pronóstico, ya que este posee la capacidad de dar a conocer las condiciones a futuro del número de contenedores, el cual no se conoce a ciencia cierta en tiempo presente.

En este estudio, el capítulo I trata sobre los aspectos generales en donde se plantea el problema que se presenta en la AMP con respecto al tránsito de contenedores, razón por la cual, se lleva a cabo este estudio; además, da a conocer el objetivo de este trabajo, así como el alcance y las limitaciones que se presentaron. Se plantea las hipótesis y justificación del mismo.

En el capítulo II, se presenta el marco teórico, en donde se muestra mayor información sobre la AMP; además, se expone todo lo referente a los contenedores y el modelo estadístico a utilizar.

El capítulo III da a conocer el tipo de investigación que se realiza. Se indica las variables, análisis y procedimientos a seguir dentro del estudio.

Finalmente, en el capítulo IV se presenta los resultados obtenidos del estudio.

Capítulo I. Aspectos generales

1.1 Planteamiento del problema

El Canal de Panamá, siendo un importante punto estratégico para el transporte marítimo de contenedores desde y hacia norte y sur américa; registró para el período enero-junio del año 2018, un movimiento de contenedores en unidades de 1.9 millones

En la actualidad, sin embargo, el Canal de Panamá se encuentra con la problemática de no contar con la infraestructura adecuada para el manejo y almacenamiento de la carga que transita entre estos dos puntos geográficos antes mencionados. Entre las varias causas a las cuales se le pudiese atribuir la actual condición desfavorable del manejo logístico del Canal, considero que la principal, es la carencia de un modelo de pronóstico adecuado por parte de la Autoridad Marítima de Panamá, el cual, de poseerlo, le permitiría a esta entidad, anticipar y corregir los conflictos logísticos y de almacenamiento que se pudiesen presentar.

Dado que la AMP es la institución encargada de regir el flujo marítimo que transita por el Canal, debe fortalecer la industria naviera y estar capacitada para prever futuras amenazas. De allí, surge la importancia de este estudio, para instigar a esta entidad a contar con sistemas estadísticos avanzados; entre ellos, un modelo de pronóstico del número de tránsito de contenedores que se registran en la AMP, para cumplir con dicho propósito.

De acuerdo a lo planteado se genera la siguiente interrogante: ¿Un modelo de pronóstico aportará a los tomadores de decisiones para prever falta de infraestructura?

1.2 Objetivo general

Proponer un modelo ARIMA (Autorregresivo Integrado de Media Móvil) para pronosticar el número de contenedores importados que se registran en la Autoridad Marítima de Panamá.

1.3 Objetivos específicos

- Identificar el modelo ARIMA para el pronóstico del número de contenedores importados, registrados en la AMP, año: 2010-2020.
- Estimar el modelo ARIMA para el pronóstico del número de contenedores importados, registrados en la AMP, año: 2010-2020.

- Validar el modelo ARIMA para el pronóstico del número de contenedores importados, registrados en la AMP, año: 2010-2020.
- Pronosticar el número de contenedores importados, registrados en la AMP, para el año 2021.

1.4 Hipótesis

H₀: El modelo ARIMA es adecuado para pronosticar el número de contenedores importados, registrados en la AMP, para el año 2021

H₁: El modelo ARIMA no es adecuado para pronosticar el número de contenedores importados, registrados en la AMP, para el año 2021.

Modelo: modelo ARIMA para datos regulares con periodicidad mensual.

$$\hat{y}_{t+k} = \phi y_{t-1} + \varepsilon_t$$

En donde:

y_t : valor de la variable en el momento t

y_{t-1} : valor de la variable en el momento $t-1$

ϕ : es el parámetro del modelo

ε_t : es el error residual

1.5 Alcance del trabajo

Este estudio se enfoca directamente al segmento de contenedores importados al istmo de Panamá que transitan por el Canal.

El modelo de pronóstico desarrollado en este estudio, está aplicado solamente al número de contenedores importados al istmo de Panamá que transitan por el Canal.

El modelo de pronóstico a desarrollar, es un método que puede ser utilizado por la Autoridad Marítima de Panamá.

El modelo de pronóstico permite tener conocimiento del comportamiento de los contenedores que se importarán al istmo de Panamá.

El modelo a presentar, no se limita a ofrecer un pronóstico para tener conocimiento del comportamiento del flujo de contenedores a futuro; sino que, provee conocimiento para prever futuras amenazas.

1.6 Limitaciones

En este proyecto, algunos de los obstáculos que se presentaron fueron: el obtener los datos del número de contenedores importados, registrados en la Autoridad Marítima de Panamá, para la realización del modelo de pronóstico. Otro percance

presentado fue la prohibición del libre tránsito debido a la actual pandemia (Covid-19).

1.7 Justificación

Este estudio se realiza con los objetivos de dar a conocer el potencial efecto positivo que la aplicación de modelos estadísticos pudiese tener en la Autoridad Marítima de Panamá; así como demostrar que la aplicación de un modelo de pronóstico para el tránsito de contenedores importados al istmo de Panamá que transitan por el Canal, es indispensable para prever futuras amenazas y contingencias.

Este proyecto toma auge a causa de que actualmente se presenta el problema de la falta de espacio para el almacenamiento de los contenedores importados al istmo de Panamá, los cuales utilizan el Canal como medio de tránsito.

Este proyecto tiene como objetivo mostrar una solución a las futuras problemáticas que se puedan presentar con referencia a los contenedores importados, lo cual se ha podido observar que genera un gran problema al país en general debido a que es una actividad económica que realiza un gran aporte al país.

Este proyecto, beneficiará tanto a la Autoridad Marítima de Panamá, como a diversas entidades que requieran de datos sobre el número de contenedores que transitan por el Canal y registrados en la AMP. Estas entidades, serán beneficiadas por poseer datos predictivos para los meses del año 2021 como periodo de estudio.

A fin de contribuir con la AMP se presenta este análisis, el cual ofrecerá una herramienta científicamente probada que producirá un gran aporte a las tareas y actividades de las oficinas estadísticas encargadas de las estimaciones en la entidad antes mencionada.

Capítulo II. Marco teórico

2.1 Autoridad Marítima de Panamá

La Autoridad Marítima de Panamá, entidad autónoma del Estado panameño, fue establecida mediante el Decreto Ley N° 7 de 10 de febrero de 1998, que unificó las competencias marítimas que hasta esa fecha poseían la Autoridad Portuaria Nacional, la Dirección General Consular y de Naves, el Ministerio de Hacienda y Tesoro, la Dirección General de Recursos Marinos, el Ministerio de Comercio e Industrias, y la Escuela Náutica de Panamá, del Ministerio de Educación. La Autoridad Marítima de Panamá es dirigida por un Administrador(a) nombrado por el Presidente de la República y ratificado por la Asamblea Nacional de Diputados, quien ejerce su representación legal. (Autoridad Marítima de Panamá, 2019)

2.1.1 Misión y Visión de la AMP

Misión de la AMP: Brindamos servicio de alta calidad a la industria marítima, garantizando la seguridad jurídica, libre empresa y mercado competitivo; a través del cumplimiento de normativas nacionales e internacionales, en un marco de transparencia y responsabilidad social ambiental. (Autoridad Marítima de Panamá, s.f.)

Visión de la AMP: Ser líderes en la prestación de servicios marítimos, logísticos y portuarios, promoviendo inversiones y alianzas estratégicas que fortalecen el comercio, mediante procesos eficientes e innovadores, con el mejor talento humano; logrando un crecimiento económico sostenible para el país. (Autoridad Marítima de Panamá, s.f.)

2.1.2 Sistema Portuario

El Sistema Portuario de Panamá está conformado por 41 puertos de los que 22 son administrados por la Autoridad Marítima de Panamá a través de la Dirección General de Puertos e Industrias Marítimas Auxiliares, fundamentalmente puertos pequeños que dan servicio al transporte internacional y de cabotaje. Los restantes 19 puertos son administrados y operados por empresas privadas que desarrollan sus actividades bajo la fiscalización de esta Dirección General, a través de las capitanías de puertos ubicadas en el Atlántico y en el Pacífico.

Los puertos panameños representan una buena opción para la inversión por las ventajas propias y colaterales que los caracterizan, entre ellas:

- Facilidades para la carga y descarga
- Almacenajes, transbordo
- Consolidación
- Almacenamiento y distribución de carga suelta

- Alquiler, reparación y almacenaje de contenedores
- Seguros a la carga
- Limpieza y reparación de contenedores
- Administración portuaria, financiera y de cruceros
- Administración de terminales de contenedores y zonas procesadoras
- Cartas de Créditos, peritaje de carga por medio de calado. (Autoridad marítima de Panamá, s.f.)

2.1.3 Terminal de contenedores

Panamá tiene varias terminales de contenedores en el Atlántico: Manzanillo International Terminal (MIT), Cristóbal-Panamá Ports Company (PPC) y Colon Container Terminal (CCT) y uno en construcción Panamá Colon Container Port. En la zona del Pacífico, el puerto de Balboa y PSA Panamá Internacional Terminal.

Adicionalmente, un puerto realiza actividades comerciales a la carga contenerizada en el interior de la República de Panamá; la terminal de Bocas Fruit Co. en Almirante especializados en el servicio de línea de tipo refrigerado para la exportación de bananas. (Autoridad Marítima de Panamá, s.f.)

2.1.4 Área de estadísticas generales

El Área de Estadísticas Generales ha logrado grandes avances en información para los usuarios, mejorando la cobertura del Sistema Estadístico Marítimo Portuario, incluyendo nuevas estadísticas en la página web de la institución (desembarque de especies marinas, servicio de lanchas, principales mercaderías de comercio exterior, carga a granel por puerto y registro público).

Para lograr mayor eficiencia en el flujo de la información que se brinda, se han mejorado la automatización de los procesos de captura y el procesamiento de datos estadísticos con el desarrollo del Sistema Estadístico Portuario on-line desarrollado por la Unidad de Informática, el cual está en proceso de prueba.

También, se da la creación de una base de datos de los servicios marítimos auxiliares (avitallamiento, fumigación, reparación de buques, reparación de equipos electrónicos de buques, pilotaje, abastecimiento de agua), para el manejo de estas bases de datos se adquirieron tres (3) licencias de la versión 21 de SPSS, software especializado para manejo de base de datos y análisis estadístico.

Como parte del apoyo que brinda el Área de Estadísticas Generales a otros Departamentos o Direcciones, se ha colaborado en los siguientes temas:

- Del Sistema de Indicadores de Calidad de la Dirección General de Gente de Mar.

- Encuesta del Proyecto para la creación del Centro de Orientación Infantil (COIF), de la Autoridad Marítima de Panamá.
- La satisfacción del cliente de los usuarios de las oficinas regionales de Marina Mercante (Nueva York, Grecia, Singapur, Corea y Panamá).
- De las bases de datos de las Inspectorías de Marina Mercante durante giras realizadas en el segundo trimestre del 2014.
- Sistema de Calidad de Marina Mercante en la reunión de revisión por la Dirección de Marina Mercante. (Autoridad Marítima de Panamá, 2014)

2.2 Contenedores

2.2.1 Terminal de contenedores

Un puerto polivalente atiende a buques que transportan tráficos heterogéneos, pero presentan características genéricas idénticas. No obstante, debido a la tendencia observada a nivel mundial de contenerización de la mercancía general, muchas terminales polivalentes terminarán convirtiéndose en terminales especializadas en contenedores. Para que un puerto sea catalogado como terminal de contenedores portuaria (TCP) debe contar con instalaciones especializadas para el manejo de todos los diferentes tipos de contenedores sin importar que tipo de carga contengan. (Grúas y Aparejos, s.f.)

2.2.1.1 Contenedores de exportación

Los transportistas, con un entréguese se llevan un contenedor vacío de la terminal y lo llevan a cargar. Una vez cargado el contenedor, el transportista con un admítase, entra el contenedor a la terminal.

En el admítase está toda la información relativa a ese contenedor, el precinto que lleva, el puerto de destino, en qué buque y en qué escala va a embarcarse. Hay que tener en cuenta que los buques realizan un servicio de una línea y tienen abierta una escala.

Una vez entra el contenedor lleno a la terminal, es depositado en una posición determinada acorde a la previa planificación. El contenedor se embarca en el buque que le corresponda y es exportado a su destino. (Grúas y Aparejos, s.f.)

2.2.1.2 Contenedores de Importación.

El contenedor lleno es descargado de un buque. Un transportista con un entréguese, en el que irá asignado el contenedor de importación irá a la terminal a recogerlo y lo llevará a su destino, donde se le retirará la mercancía. Más tarde, una vez vacío, el contenedor volverá a entrar en la terminal con un entréguese. (Grúas y Aparejos, s.f.)

2.2.2 Clasificación de contenedores marítimos

2.2.2.1 El ciclo del contenedor

Tanto para la importación como para la exportación, el ciclo del contenedor involucra una serie de operaciones que se llevan a cabo dentro del puerto desde el desembarque hasta el almacenaje.

Dichas operaciones, están relacionadas con 4 subsistemas diferentes que describen el movimiento del contenedor, vacío o lleno.

Cabe señalar, que, a diferencia de muchas otras terminales, la recepción y entrega de contenedores vía terrestre en una terminal que trabaja con transtainer dentro de bloque se llevan a cabo dentro de la zona de almacenamiento, a diferencia de una que trabaje con stradelcarrier. (Grúas y Aparejos, s.f.)

2.2.3 Carga y descarga de contenedores

Sistema de carga y descarga:

Comprende todas las operaciones marítimas de carga y descarga de contenedores del buque, que se encuentra atracado en la zona de muelle provista con grúas pórtico puente.

En la operativa de buque se ven involucradas diversas profesionales y entidades:

- Los coordinadores de la terminal portuaria, que realizan labores de preparación, así como de postpartida, y coordinan el trabajo de los estibadores in situ.
- Los estibadores, estos se encargan de realizar la acción de carga/descarga manipulando maquinaria pesada de estiba.
- Agentes consignatarios, que son el representante de la naviera en el puerto.
- La Autoridad Portuaria, que gestiona el atraque y desatraque en muelle.
- Los planners, que son los empleados de la terminal que se dedican a planificar las secuencias de carga y descarga teniendo en cuenta el peso y el destino del contenedor, entre otros factores. (Grúas y Aparejos, s.f.)

2.2.4 Carga y descarga de mercancías

Gestión de la carga y descarga

Para su estiba, los contenedores cuentan con cuatro esquinas o corners en la parte superior, así como en la inferior, los cuales están perforados para que se puedan introducir los cuatro twistlocks del spreader.

El spreader de la grúa es el instrumento que nos permite izar el contenedor en el aire y su elevación se realiza mediante unos resistentes cables de acero que se

enrollan y desenrollan de un cabrestante accionado por un motor, con reductor y freno.

- Los estibadores también han de cerciorarse que los contenedores quedan bien trincados.
- Para ello en cubierta se hace uso de guías y de twistlocks de bodega o “pinets”.
- En cubierta se emplean elementos como twistlocks y barras tensoras de trincaje.
- Para la ubicación de contenedores dentro del buque se utiliza un sistema que viene definido por tres parámetros: bay, row y tier.
 - Bays: o bahías son secciones transversales en las cuales ocupa un contenedor y se numeran de forma ascendente de proa a popa. Los números impares corresponden a contenedores de 20 pies mientras que los pares a 40 pies, igual que pasa con los módulos en la ubicación de explanada.
 - Row: corresponde al corte longitudinal del buque. Se numeran desde la línea de crujía con números impares hacia estribor y pares hacia babor en orden ascendente. Cuando el número de rows en un bay es impar, el que queda en el centro es el row 00.
 - Tier: corresponde a la altura a la que le corresponde el contenedor. Sólo usan números pares, de 02 desde el plan de bodega hasta bajo la brazola en orden ascendente y de 80 en orden ascendente desde cubierta (82 si está apoyado en la escotilla). (Grúas y Aparejos, s.f.)

2.2.5 Logística y transporte de mercancías

Sistema de entrega y recepción:

Corresponde a la interfaz terrestre: transporte vía carretera o vía ferroviaria. Dependiendo de la maquinaria que se emplee, los camiones externos acercan su contenedor al bloque y allí se le carga el contenedor asignado en puerta o, en otras terminales, puede facilitarse la carga/descarga en una zona habilitada para ello, así se evita la circulación de camiones no portuarios dentro de la zona de almacenaje, pese a que se requiere mayor grado de automatización.

La operativa de ferrocarril se realiza en la zona de acceso de ferrocarril y las máquinas portuarias se encargan del transporte horizontal del contenedor: de su ubicación en el ferrocarril a su ubicación en explanada y viceversa. (Grúas y Aparejos, s.f.)

2.2.6 Sistemas de almacenamiento

Se trata de la zona de la terminal donde, tras su llegada vía terrestre o vía marítima, se almacenan los contenedores temporalmente, a la espera de ser cargados de nuevo en camión, ferrocarril o barco. Dicha zona se conoce como patio, explanada o campa. (Grúas y Aparejos, s.f.)

2.2.7 Gestión portuaria

Gestión de explanada: Su gestión depende de la extensión de terreno de la que se disponga y condiciona los medios de manipulación con los que se va a trabajar.

En cualquier distribución de campa, los contenedores se encuentran apilados, uno encima del otro, de manera que esto interfiere en la capacidad de apilar de la maquinaria que se vaya a aplicar.

Además, si los contenedores tienen adjuntos otros contenedores en el plano horizontal de manera que es inviable el paso entre ellos, y formando bloques, se van a tener que emplear máquinas que puedan acceder al interior de dicho bloque.

En cuanto a la orientación de los contenedores, también se pueden presentar terminales en las que el contenedor se dispone de manera paralela al muelle y otras, de más reciente creación, en las que los contenedores con su longitud perpendicular al muelle, facilitando el traslado de grúas puente hasta la zona de atraque.

Independientemente de la gestión de la explanada de la empresa, todas las terminales han de tener un sistema de ubicación de contenedores en la que se especifica el bloque o área del contenedor, y su posición dentro de éste 'x', 'y' y trabaja con transtainer como módulo, calle y altura. (Grúas y Aparejos, s.f.)

2.2.8 Sistema de transporte de carga

Sistema de transporte interno o de interconexión

Este subsistema responde al transporte horizontal de los contenedores entre los subsistemas anteriormente nombrados. Comprende todos los movimientos de mercancía dentro de la terminal, de buque, camión o ferrocarril a almacenamiento o movimientos internos para la organización de la explanada. (Grúas y Aparejos, s.f.)

2.2.9 Terminal portuaria de contenedores

Principales servicios ofrecidos por una terminal de contenedores

Cuando una TCP cumple su objetivo de servir como nodo para el cambio del modo de transporte. En su operativa interna ha realizado diferentes procesos o servicios que en conjunto permiten lograr el objetivo general. Brevemente se nombran los

tres principales servicios que son ofrecidos por las terminales portuarias. (Grúas y Aparejos, s.f.)

2.2.9.1 Descarga o carga de buques

Este servicio es proporcionado a las líneas de transporte marítimo y comprende la descarga de los contenedores que llegan a la TCP con destino final o en tránsito y de manera contraria la carga de los contenedores que salen de la TCP. Es enfocado a las líneas de transporte marítimo, ya que son estas las que directamente están afectadas por el tiempo que demora la operación, el cual depende de la velocidad de carga y descarga medida en TEUs/hora. (Un TEU equivale a un contenedor de 20 pies).

Para minimizar el tiempo que permanece un buque en el puerto se debe tener en cuenta la disponibilidad de maquinaria que tenga la terminal para este en ese instante de tiempo, además de la óptima programación de esta. (Grúas y Aparejos, s.f.)

2.2.9.2 Almacenamiento temporal de mercancías

Este servicio es proporcionado a los dueños de la mercancía que está en el interior de los contenedores, la cual puede ser de importación o de exportación. Consiste en almacenar por poco tiempo los contenedores, mientras llega el medio de transporte en que tienen que ser cargados. En general, es un servicio igual para todos los contenedores, ya que son apilados hasta la altura que la maquinaria del terminal permita en la zona que esté, y por lo tanto sin ningún tipo de protección contra el clima.

Los contenedores frigoríficos tienen una zona de almacenaje especial debido a la necesidad de energía para mantener en funcionamiento el sistema de enfriado que poseen, en donde se encuentra una conexión para cada uno de ellos, pero de igual forma que los otros no tienen ninguna protección contra el clima. (Grúas y Aparejos, s.f.)

2.2.9.3 Cambio de modo transporte

Este servicio es ofrecido tanto a las líneas navieras como a los dueños de la carga, se basa en el cambio del modo de transporte marítimo a terrestre, pero es complementado con aspectos como: conectividad con vías terrestres principales, posibilidad de trasbordo a barcazas que tengan como destino otros puertos más pequeños, trenes, etc. (Grúas y Aparejos, s.f.)

2.3 Modelo ARIMA

2.3.1 Concepto

El modelo ARIMA es una metodología econométrica basada en modelos dinámicos que utiliza datos de series temporales. La metodología utilizada en los modelos ARIMA fue descrita inicialmente por el estadístico George Edward Pelham Box y el estadístico e ingeniero Gwilym Meirion Jenkins en 1970 en su libro: *Análisis de Series Temporales. Predicción y Control (Time Series Analysis: Forecasting and Control)*. (Guías Jurídicas, s.f.)

El modelo ARIMA permite describir un valor como una función lineal de datos anteriores y errores debidos al azar, además, puede incluir un componente cíclico o estacional, es decir, debe contener todos los elementos necesarios para describir el fenómeno. Box y Jenkins recomiendan como mínimo 50 observaciones en la serie temporal (Fernández)

2.3.2 Expresión y objetivos.

ARIMA necesita identificar los coeficientes y número de regresiones que se utilizarán. Este modelo es muy sensible a la precisión con que se determinen sus coeficientes.

ARIMA es un modelo (p,d,q) en donde:

p: Autorregresión

d: Integración o Diferenciación

q: Media Móvil

Se suele expresar como ARIMA(p,d,q) donde los parámetros p, d y q son números enteros no negativos que indican el orden de las distintas componentes del modelo respectivamente, las componentes autorregresiva, integrada y de media móvil. Cuando alguno de los tres parámetros es cero, es común omitir las letras correspondientes del acrónimo **AR** para la componente autorregresiva, **I** para la integrada y **MA** para la media móvil. Por ejemplo, ARIMA (0,1,0) se puede expresar como I (1) y ARIMA (0,0,1) como MA (1).

El modelo ARIMA puede generalizarse aún más para considerar el efecto de la estacionalidad. En ese caso, se habla de un modelo SARIMA (Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average).

El modelo ARIMA (p,d,q) se puede representar como:

$$Y_t = -(\Delta^d Y_t - Y_t) + \phi_0 + \sum_{i=1}^p \phi_i \Delta^d \zeta$$

en donde d corresponde a las d diferencias que son necesarias para convertir la serie original en estacionaria, ϕ_1, \dots, ϕ_p son los parámetros pertenecientes a la parte "autorregresiva" del modelo, $\theta_1, \dots, \theta_q$ los parámetros pertenecientes a la parte "medias móviles" del modelo, ϕ_0 es una constante, y ε_t es el término de error (llamado también innovación o perturbación estocástica esta última asociada más para modelos econométricos uniecuacionales o multiecuacionales). (Wikipedia, s.f.)

2.3.3 Consideraciones generales

Para trabajar con modelos ARIMA es necesario tener en cuenta una serie de conceptos básicos tales como: proceso estocástico, ruido blanco, sendero aleatorio y estacionariedad.

- 1) Un proceso estocástico es una sucesión de variables aleatorias ($\{Y_t\}$, $t = -\infty, \dots, -1, 0, 1, \dots, \infty$) que dependen de un parámetro, en el caso de las series temporales este parámetro es el tiempo.
- 2) Un ruido blanco es una sucesión de variables aleatorias que se caracterizan por tener una esperanza constante e igual a cero, igual varianza, y además, son independientes a lo largo del tiempo (covarianza es cero).
- 3) Un sendero aleatorio es un proceso estocástico que se caracteriza porque su primera diferencia es un ruido blanco.
- 4) Un proceso estocástico es débilmente estacionario o estacionario en un sentido amplio, si se cumple que su media y su varianza son constantes para cualquier período de tiempo y las covarianzas entre dos variables solo dependen del lapso de tiempo que transcurre entre ellas. (Guías Jurídicas, s.f.)

2.3.4 Etapas en la elaboración de un modelo ARIMA

1. Identificación: Para identificar cual es el proceso ARIMA que ha generado una determinada serie temporal es necesario que los datos sean estacionarios, es decir, no pueden presentar tendencia creciente o decreciente (si presentan tendencia habría que diferenciar la serie porque la serie no es estacionaria en media), ni tampoco pueden presentar fluctuaciones de diferente amplitud. Si la dispersión no se mantiene constante entonces la serie no es estacionaria en varianza y habría que transformarla siendo, la transformación logarítmica la más habitual.

Una vez que la serie es estacionaria es necesario obtener las funciones de autocorrelación simple y parcial muestrales para determinar el proceso ARIMA(p,d,q) más adecuado que haya podido generar la serie estacionaria.

En los modelos ARIMA(p,d,q), p representa el orden del proceso autorregresivo, d el número de diferencias que son necesarias para que el proceso sea estacionario y q representa el orden del proceso de medias móviles.

Para identificar un proceso autorregresivo de orden p, es necesario que la función de autocorrelación simple no se anule y decrezca de forma exponencial o sinusoidal hacia cero, mientras que, la función de autocorrelación parcial tenga solo p coeficientes distintos de cero. La expresión general de un AR(p) es una combinación lineal de p valores pasados de la variable y un ruido blanco actual,

$$Y_t = \varphi_1 Y_{t-1} + \dots + \varphi_p Y_{t-p} + a_t \quad \text{o bien}$$

$$(1 - \varphi_1 L - \dots - \varphi_p L^p) Y_t = a_t$$

$$\text{Escrito de forma compacta: } \varphi_t(L) Y_t = a_t$$

Donde:

a_t : es un ruido blanco

L: es el operador de retardos.

Los procesos autorregresivos serán siempre invertibles y para que sean estacionarios es necesario que las p raíces del polinomio característico estén fuera del círculo unidad.

Si el proceso es de medias móviles de orden q, el comportamiento de las funciones de autocorrelación simple y parcial será el contrario de los procesos autorregresivos, es decir, la función de autocorrelación simple tendrá q coeficientes distintos de cero y la función de autocorrelación parcial no se anula y decrece de forma exponencial o sinusoidal hacia cero. La expresión general de un MA(q) muestra como la variable Y_t es una combinación lineal de ruidos blancos,

$$Y_t = a_t + \theta_1 a_{t-1} + \dots + \theta_q a_{t-q}$$

$$\text{o bien } (1 - \theta_1 L - \dots - \theta_q L^q) a_t = Y_t$$

$$\text{Escrito en forma compacta: } \theta_q(L) a_t = Y_t$$

Donde:

a_t : es ruido blanco.

Los procesos de medias móviles son siempre estacionarios y para que sea invertible es necesario que las q raíces del polinomio estén fuera del círculo unidad.

Sin embargo, si el proceso es un ARMA, ni la función de autocorrelación simple y ni la parcial se anulan y su identificación es más complicada que la de un AR o un MA.

Así, los procesos ARMA o modelos mixtos se obtienen de combinar los procesos AR y MA. La expresión general de un ARMA(p,q) es,

$$Y_t = \varphi_1 Y_{t-1} + \dots + \varphi_p Y_{t-p} + a_t + \theta_1 a_{t-1} + \dots + \theta_q a_{t-q}$$

$$\text{O bien } (1 - \varphi_1 L - \dots - \varphi_p L^p) Y_t = (1 - \theta_1 L - \dots - \theta_q L^q) a_t$$

$$\text{Escrito en forma compacta: } \varphi_p(L) Y_t = \theta_q(L) a_t$$

Los procesos ARMA(p,q) son estacionarios si las p raíces del polinomio de la parte autorregresiva están fuera del círculo unidad y será invertible si las q raíces del polinomio de parte de las medias móviles están también fuera del círculo unidad.

2. Estimación

Después de identificar el proceso que ha generado los datos de una determinada serie temporal es necesario estimar los parámetros de los que depende. Si se supone que de forma genérica que el proceso es estacionaria es invertible y que la serie temporal ha sido generada por un ARIMA(p,d,q), entonces, la transformación estacionaria $W_t = (1-L)^d Y_t$ será un ARMA(p,q):

$$W_t = \varphi_1 W_{t-1} + \dots + \varphi_p W_{t-p} + a_t + \theta_1 a_{t-1} + \dots + \theta_q a_{t-q}$$

donde los parámetros que hay que estimar son: $\varphi_1, \dots, \varphi_p, \theta_1, \dots, \theta_p$.

Estos parámetros del modelo ARMA se pueden estimar por máxima verosimilitud asumiendo que la distribución la serie, por ejemplo, es Normal. En este caso el logaritmo de la función de verosimilitud es,

$$\text{Log } L = -\frac{T}{2} \log(2\pi) - \frac{(T-1)}{2} \sigma_a^2 - \frac{1}{2\sigma_a^2} \sum_{t=2}^T [y_t - E \left[\frac{w_t}{w_{t-1}} \right]]^2 - \frac{1}{2} \log(\sigma^2) - \frac{(w_1 - \mu)^2}{2\sigma^2}$$

Donde:

T: es el número de observaciones;

σ_a^2 : es la varianza del ruido;

μ : es la media de la serie y

σ^2 : varianza de la serie.

3. Validación

Después de estimar el modelo es necesario comprobar si se ajusta o no de forma adecuada a los datos observados de la serie temporal objeto de estudio. Para comprobar si el modelo es adecuado se suele realizar lo siguiente: análisis de los

parámetros estimados, análisis de los residuos, análisis de la bondad del ajuste y análisis de estabilidad.

a) Análisis de los parámetros estimados. Es necesario contrastar si los parámetros estimados son estadísticamente significativos o no. Para ello, la hipótesis nula, para cada uno de los coeficientes, plantea que este es cero frente a la hipótesis alternativa que es distinto de cero. El estadístico del contraste se basa en la distribución t de Student. Si al realizar el contraste alguno de los parámetros no fuese significativo sería necesario eliminarlo del modelo.

También es necesario comprobar que los parámetros estimados cumplen las condiciones de estacionariedad e invertibilidad. Así, si alguna de las raíces del polinomio de retardos correspondiente a la parte autorregresiva está próxima a uno, es posible que la serie original esté subdiferenciada (sería necesario calcular alguna diferencia más). Sin embargo, si alguna de las raíces del polinomio de retardos correspondiente a las medias móviles está próxima a uno, entonces es posible que el modelo esté sobrediferenciado (sería necesario eliminar alguna diferencia). Por otro lado, si existen raíces comunes en ambos polinomios de retardos, entonces estas se simplificarían y el modelo adecuado sería un ARMA(p-1,q-1).

b) Análisis de los residuos. Uno de los supuestos del modelo ARIMA es que las perturbaciones aleatorias son ruido blanco, sin embargo, como estas son inobservables es necesario calcular los residuos y comprobar si estos son ruido blanco o no. Existen varias formas de comprobar si los residuos son ruido blanco o no, entre ellas se puede destacar: el gráfico de los residuos, la función de autocorrelación simple y parcial estimada de los residuos y el contraste de Portmanteau.

En primer lugar, el gráfico de los residuos nos puede indicar de forma intuitiva si su media es constante e igual a cero, y también, si su varianza es constante. Además, también puede indicar si se producen errores sistemáticos o no, así como, si existen valores atípicos (aquellos que excedan tres veces su desviación típica). Si existiesen valores atípicos sería necesario llevar a cabo un análisis de intervención adecuado que recoja la información proporcionada por dichos valores.

En segundo lugar, se analizarían las funciones de autocorrelación simple (FAC) y parcial (FACP) muestrales de los residuos. De tal forma, que si el modelo está estimado de forma correcta, entonces, todos los coeficientes estimados de la FAC y FACP tienen que ser estadísticamente nulos. Si, por el contrario, la FAC y FACP indicasen que los residuos no son ruido blanco entonces, será necesario identificar el proceso e incorporar esta información en el modelo inicial propuesto con el fin de volver a estimar otra vez el modelo.

Por último, el contraste de Portmanteau o contraste global de significación se utiliza para comprobar si hay ausencia de autocorrelación entre los términos de error, es decir,

$$H_0: \rho_1 = \rho_2 = \dots = \rho_m = 0$$

H_1 : por lo menos para algún $\rho_k \neq 0$, $1 < k < m$

Donde:

ρ_k : es el coeficiente de orden k de la FAC del proceso de ruido blanco.

El estadístico $Q(m)$ de Box-Pierce (1970) o el actualizado por Box-Ljung (1976) para realizar este contraste se distribuyen como una χ^2 con $(m-p-q)$ grados de libertad. Si para un nivel de significación α se acepta la hipótesis nula los residuos son ruido blanco, y si se rechaza habrá que volver a estimar el modelo.

c) Análisis de la bondad del ajuste. Para ver la adecuación que existe entre la serie real y la estimada se puede utilizar el coeficiente de determinación o el coeficiente de determinación corregido. Cuanto más próximos estén estos coeficientes a uno mejor será el modelo ajustado.

Sin embargo, si se quieren comparar diferentes modelos, estos coeficientes solo se podrán utilizar cuando se hayan calculado el mismo número de diferencias. En este caso, habrá que utilizar otros métodos alternativos de comparación, tales como, el criterio de información de Akaike (AIC) o el criterio de información de Bayes (BIC). En ambos casos, se elegirá como más adecuado aquel modelo que tenga un menor valor del AIC o del BIC.

d) Análisis de estabilidad. Este análisis, permite establecer si el modelo ARIMA estimado, para el período muestral, es estable también en períodos futuros. Si esto es así se podrán obtener predicciones fiables de la variable objeto de estudio. Para realizar este análisis de estabilidad se puede utilizar el test de estabilidad estructural de Chow.

4. Predicción

Una vez estimado y validado el modelo ARIMA se puede utilizar para obtener valores futuros de la variable objeto de estudio. Las predicciones obtenidas pueden ser de dos tipos: puntuales o por intervalos. La predicción puntual se obtiene calculando el valor esperado de la variable en el período futuro $T+1$ condicionado al conjunto de información disponible hasta el período T . Y la predicción por intervalos, para un nivel de confianza del 95%, se obtiene sumando y restando a la predicción

puntual la desviación típica del error de predicción multiplicada por el valor tabulado para el 95% de confianza. (Quisbert, 1997)

Las características genéricas de las predicciones realizadas con modelos ARIMA son:

- a) En los modelos AR(p). La predicción a medida que aumenta el horizonte temporal, tiende a la media del proceso.
- b) En los modelos MA(q). Si el horizonte temporal de la predicción es mayor que el orden del proceso entonces, la predicción es igual a la media.
- c) En los modelos ARMA(p,q). Para períodos superiores al orden del proceso de las medias móviles, la función de predicción se comporta como la de un proceso AR(p) y, por lo tanto, tiende a la media.
- d) En los modelos ARIMA(p,d,q). La predicción ya no tiende a la media, sino que será una línea recta con pendiente igual a la media del proceso que se obtiene al hacer las transformaciones necesarias para que la serie sea estacionaria. (Guías Jurídicas, s.f.)

2.3.5 Modelos Puramente Estacionales SARIMA (P,D,Q).

Los modelos SARIMA captan el comportamiento puramente estacional de una serie, en forma similar, como hemos visto, se realiza para la componente regular o no estacional. Una serie con influencia solamente por la componente estacional puede ser descrito por un modelo SARIMA (P,D,Q), el cual se lo representa de la siguiente manera:

$$\phi_p(B^s)\nabla_s^D(Z_{t-\mu}) = \theta_Q(B^s)a_t$$

donde la constante μ es el nivel del proceso original Z_t .

$$\phi_p(B^s) = 1 - \phi_s B^s - \phi_{2s} B^{2s} - \dots - \phi_{ps} B^{ps}$$

Es un polinomio autorregresivo estacional de orden P

$$\theta_Q(B^s) = 1 - \theta_s B^s - \theta_{2s} B^{2s} - \dots - \theta_{Qs} B^{Qs}$$

Es un polinomio de promedios móviles estacional de orden Q.

a_t : Es un proceso de ruido blanco.

Como es de esperar en la práctica no siempre se presentan series con componente regular únicamente, o afectadas por la estacionalidad solamente, sino por el contrario, generalmente se presentan series afectadas por ambas componentes, tendencia regular y estacionalidad. En este sentido Box y Jenkins (1970) propone un modelo denominado multiplicativo, el cual puede explicar el comportamiento de una serie afectada por ambas componentes. (Quisbert, 1997)

2.4 Metodología Box y Jenkins

En el análisis de series de tiempo, la metodología de Box-Jenkins, nombrada así en honor a los estadísticos George E. P. Box y Gwilym Jenkins, se aplica a los modelos Autorregresivos de Media Móvil (ARMA), o a los modelos Autorregresivos Integrados de Media Móvil (ARIMA), para encontrar el mejor ajuste de una serie temporal de valores, a fin de que los pronósticos sean más acertados. (Wikipedia, s.f.)

2.4.1 Enfoque del método

El método original utiliza un enfoque de modelado iterativo en tres etapas, usando datos de un horno de gas. Estos datos son conocidos como datos de Box-Jenkins del horno de gas para la evaluación comparativa de modelos de predicción.

Las tres etapas del modelado iterativo son las siguientes:

1. Identificación y selección del modelo: asegurarse de que las variables son estacionarias, la identificación de la estacionalidad de la serie dependiente (diferenciación estacional, para cierto período, si es necesario), y el uso de los gráficos de las funciones de autocorrelación simple y de autocorrelación parcial de la serie de tiempo se utilizan para decidir cuál componente (si es el caso) se debe utilizar en el modelo, el Promedio Autorregresivo (AR) o un Promedio Móvil (MA).
2. Estimación de parámetros usando algoritmos de cálculo para tener coeficientes que mejor ajusten el modelo ARIMA seleccionado. Los métodos más comunes usan estimación de máxima verosimilitud o mínimos cuadrados no lineales.
3. Comprobar el modelo mediante el ensayo, si el modelo estimado se ajusta a las especificaciones de un proceso univariado estacionario. En particular, los residuos deben ser independientes el uno del otro, además, la media y la varianza deben ser constantes en el tiempo. (Para identificar los errores de especificación son útiles la graficación de la media y la varianza de los residuos a través del tiempo y la realización de una prueba de Ljung-Box o bien por medio del trazado de autocorrelación simple y autocorrelación parcial de los residuos.) Si la estimación es inadecuada, tenemos que volver al paso uno e intentar buscar un modelo mejor.

2.4.2 Identificación del modelo Box y Jenkins

1. Estacionariedad y estacionalidad

El primer paso en el desarrollo de un modelo de Box-Jenkins es determinar si la serie de tiempo es estacionaria y si hay alguna estacionalidad significativa que necesite ser modelada.

Detección de tendencia: La tendencia puede evaluarse a partir de una secuencia de largo plazo. La secuencia ejecutada debe mostrar ubicación y escala constante. También se puede detectar a partir de una gráfica de autocorrelación simple.

Detección estacionalidad: La estacionalidad (o periodicidad) generalmente se puede evaluar a partir de un diagrama de autocorrelación simple (correlograma), de una subserie, o una trama espectral.

2. Diferenciación tendencia

Box y Jenkins recomiendan el enfoque de diferenciación para lograr estacionariedad. Sin embargo, ajustando una curva y restando los valores ajustados de los datos originales también se puede utilizar en el contexto de los modelos de Box-Jenkins.

3. Diferenciación estacional

En la fase de identificación del modelo, el objetivo es detectar la estacionalidad, si existe, y para identificar el orden de los términos autorregresivos y de media móvil estacional de temporada. Para muchas series, el periodo es conocido y un solo término estacionalidad es suficiente. Por ejemplo, para los datos mensuales se suele incluir un término de temporada AR (12) o un término de temporada MA (12). Para los modelos de Box-Jenkins, en ocasiones no se puede eliminar explícitamente estacionalidad antes de ajustar el modelo. En su lugar, se incluye el orden de los términos estacionales en la especificación al usar un software de estimación del modelo ARIMA. Sin embargo, puede ser útil aplicar una diferencia estacional a los datos y regenerar las gráficas de la autocorrelación simple y autocorrelación parcial. Esto puede ayudar en la identificación del modelo del componente no estacional del modelo. En algunos casos, la diferenciación estacional puede eliminar la mayor parte o la totalidad del efecto de la estacionalidad.

2.4.3 Identificar p y q

Una vez que se han abordado estacionalidad y temporalidad, el siguiente paso es identificar el orden (es decir, la p y q) de los términos autorregresivo y de media móvil. Diferentes autores tienen diferentes enfoques para la identificación de p y q. Brockwell y Davis (1991, p. 273) afirman "nuestro principal criterio para la selección del modelo de [entre ARMA (p, q) los modelos] será la AICC", es decir, el criterio de información Akaike con corrección. Otros autores utilizan el diagrama de autocorrelación simple y autocorrelación parcial, descritos arriba.

2.4.4 Diagramas de autocorrelación simple y autocorrelación parcial

El muestreo mediante un diagrama de autocorrelación simple y de una autocorrelación parcial se comparan con el comportamiento teórico de estos diagramas cuando el período es conocido.

Específicamente, para un (1) AR proceso, la función de autocorrelación de la muestra debe tener una apariencia de forma exponencial decreciente. Sin embargo, los procesos AR de orden superior son a menudo una mezcla de forma exponencial decreciente y amortiguado componentes sinusoidales.

Para procesos autorregresivos de orden superior, la autocorrelación de la muestra tiene que ser complementado con una parcela de autocorrelación parcial. La autocorrelación parcial de un AR (p) el proceso se convierte en cero al retardo $p + 1$, y mayor, por lo que examinar la función de autocorrelación parcial de la muestra para ver si hay evidencia de una desviación de cero. Esto generalmente se determina mediante la colocación de un 95% intervalo de confianza de la muestra gráfica de autocorrelación parcial. Si el programa de software no genera la banda de confianza, que es de aproximadamente $\pm 2/\sqrt{n}$, con n que denota el tamaño de la muestra.

La función de autocorrelación simple de un MA (q), el proceso se convierte en cero al retardo $q+1$, y mayor, por lo que examinar la función de ejemplo de autocorrelación simple para ver donde esencialmente se convierte en cero. Esto se hace mediante la colocación de un intervalo de confianza del 95% para la función de ejemplo de autocorrelación simple en la parcela de muestreo de autocorrelación simple. La mayoría de las salidas que genera el software del diagrama de autocorrelación simple también puede crear este intervalo de confianza.

La función de autocorrelación parcial de la muestra en general, no es útil para identificar el orden del proceso de media móvil.

2.4.5 Modelo de estimación de Box y Jenkins

La estimación de los parámetros de los modelos de Box-Jenkins es un problema de estimación no lineal bastante complicado. Por esta razón, la estimación de parámetros debe dejarse a un programa de software de alta calidad que se ajuste a los modelos de Box-Jenkins. Afortunadamente, muchos programas de software estadístico ahora incluyen modelos Box-Jenkins.

Los principales enfoques de los modelos de Box-Jenkins son mínimos cuadrados no lineales y la estimación de máxima verosimilitud. Estimación de máxima verosimilitud es generalmente la técnica preferida.

Los diagnósticos de modelo, para los modelos de Box-Jenkins, es similar al modelo de validación de mínimos cuadrados no lineales. Es decir, el término de error de una t se supone que sigue los supuestos para un proceso univariado estacionaria. Los residuos deben ser ruido blanco (o independientes cuando sus distribuciones son normales) dibujos a partir de una distribución fija con una media constante y varianza. Si el modelo de Box-Jenkins es un buen modelo para los datos, los residuos deben satisfacer estos supuestos.

Si estos supuestos no se cumplen, hay que adaptarse a un modelo más apropiado. Es decir, volver a la etapa de identificación del modelo y tratar de desarrollar un modelo mejor. Esperemos que el análisis de los residuos puede dar algunas pistas en cuanto a un modelo más apropiado.

Una forma de evaluar si los residuos del modelo de Box-Jenkins siguen las hipótesis, es la de generar gráficos estadísticos de los residuales. También se podría mirar el valor del estadístico Box-Ljung.

2.5 Ruido blanco

Es un proceso puramente aleatorio, se define por las condiciones:

$$u = E(X_t) = 0, \quad g^2 = var(x_t), \quad g_k = cov(x_t, x_{t+k}) = 0 \quad k = \dots, -2, -1, 0, 1, 2, \dots$$

En este tipo de procesos puramente aleatorios el correlograma se reduce a un segmento de longitud unitaria sobre el eje de ordenadas. (Fernández)

2.6 Box - Ljung

El estadístico de Box-Ljung se utiliza para comprobar si una serie de observaciones en un periodo de tiempo específico son aleatorias e independientes. Si las observaciones no son independientes, una observación puede estar correlacionada con otra observación k unidades de tiempo después, una relación que se denomina autocorrelación. La autocorrelación puede reducir la exactitud de un modelo predictivo basado en el tiempo, como la gráfica de series de tiempo, y conducir a una interpretación errónea de datos.

Este estadístico también se utiliza para evaluar los supuestos después de ajustar un modelo de series de tiempo, como ARIMA, para asegurar que los residuos sean independientes.

El estadístico de Box-Ljung, es una prueba de Portmanteau y una versión modificada del estadístico de chi-cuadrado de Box-Pierce. (Support.minitab, 2019)

2.7 Revisión de estudios similares en otros países

2.7.1 Estudio: “Predicción de Tráfico de Contenedores a corto plazo mediante Técnicas de Minería de Datos: Redes Neuronales Artificiales y Redes Bayesianas”

Utilizando un estudio similar para la comparativa del Modelo ARIMA puede referirse a una investigación realizada en España de la Universidad Politécnica de Madrid del año 2015. Dentro del cual se utilizan las variables de contenedores donde se refieren a la Predicción de Tráfico de Contenedores a corto plazo mediante Técnicas de Minería de Datos. Las nuevas técnicas de predicción de sistemas de transportes están basadas en la Minería de Datos (MD). La Minería de Datos (MD) es un área moderna interdisciplinaria que engloba a aquellas técnicas que operan de forma automática (requieren de la mínima intervención humana) y, además, son eficientes para trabajar con las grandes cantidades de información disponible en las bases de datos de numerosos problemas prácticos. La aplicación práctica de estas disciplinas se extiende a numerosos ámbitos comerciales y de investigación en problemas de predicción, clasificación o diagnosis entre otros. Existen diversas técnicas para la predicción apoyadas en la Minería de Datos como son los métodos lineales de Box y Jenkins (ARMA y ARIMA), los métodos lineales de regresión, métodos no lineales globales y métodos no lineales locales entre otros. Tomando como base estas nuevas técnicas de predicción basadas en la Minería de Datos, se plantea un posible escenario de trabajo para la explotación de las terminales portuarias de contenedores aún sin desarrollar. En esta investigación, se pretende aplicar una nueva metodología basada en dichas técnicas de predicción, en este caso, inteligencia artificial, para determinar los parámetros óptimos de explotación y planificación portuaria, basadas en las Redes Neuronales Artificiales (RNA) y las Redes Bayesianas (RB).

Dentro del planteamiento del problema en el ámbito de la logística portuaria, en términos generales, es la vinculación a las necesidades de espacios, recursos y medios. Los parámetros físicos y de equipamientos en el entorno de una terminal de contenedores.

Su Objetivo: El objetivo principal del proyecto es el de desarrollar un modelo de previsión a corto plazo. Este modelo novedoso se desarrolla para que permita realizar pronósticos de los parámetros vinculantes.

Metodología: Se centra en intentar relacionar y comprobar la posible aplicación de Minería de Datos a la determinación de los parámetros fundamentales de la planificación de una terminal de contenedores en base al análisis de los datos recopilados en diversas terminales en el ámbito mundial.

Pronóstico: Se planifican y ejecutan los siguientes apartados

Construcción de la RNA:

- Definición de la Red Neuronal Artificial
- Entrenamiento de la RNA
- Utilización de la RNA
- Mantenimiento de la RNA

Validación de la Red Neuronal Artificial

Predicción: A través del uso de Paquetes estadísticos se pudo obtener un análisis y optimización de los parámetros con buenos resultados, con la operación automática del programa. De esta manera se puede reducir la dificultad y la carga de trabajo cuando se procedió a la discretización de la variable mediante la construcción de una red Bayesiana utilizando

- Aprendizaje paramétrico
- Aprendizaje estructural
- Inferencia y Clasificación
- Validación de la Red Bayesiana

Para complementar el Modelo se tomaron cuatro puntos importantes dentro de los mismos en la investigación

- El análisis de complementariedad
- El estudio de puntos fuertes y puntos débiles
- La intersección de la RNA & RB
- La predicción a corto Plazo

Conceptos:

RNA: Redes Neuronales Artificiales, son un modelo computacional que fue evolucionando a partir de diversas aportaciones científicas que están registradas en la historia y consiste en un conjunto de unidades, llamadas neuronas artificiales, conectadas entre sí para transmitirse señales. La información de entrada atraviesa la red neuronal (donde se somete a diversas operaciones matemáticas y lógicas) produciendo unos valores y estimaciones Estadísticas de salida

RB: Redes Bayesianas, representa un conjunto de variables aleatorias y sus dependencias condicionales a través de un grafo acíclico dirigido, por ejemplo, una Red Bayesiana puede representar las relaciones probabilísticas entre enfermedades y síntomas. Dados los síntomas, la red puede ser usada para computar la probabilidad de la presencia de varias enfermedades. Su nombre deriva del matemático inglés del siglo XVIII Thomas Bayes. (García, 2015)

Capítulo III. Marco metodológico

3.1 Tipo de investigación

Esta investigación se lleva a cabo por medio de un método descriptivo, predictivo. En la misma se pretende describir de forma cuantitativa, por medio de análisis descriptivos, el movimiento de contenedores en la República de Panamá que transitan por el Canal.

3.2 Método de recolección de datos

Para esta investigación los datos fueron proporcionados por parte de la Autoridad Marítima de Panamá.

En esta investigación se utiliza datos secundarios de registros mensuales de los contenedores importados.

3.3 Definición de variable de estudio

En esta investigación la variable de estudio son los contenedores y el tiempo.

Variables		Definición conceptual	Definición operacional
Dependiente	Contenedores	Un contenedor es un recipiente de carga para el transporte marítimo.	Se captura como número de contenedores en el país. Tamaño: 20 pies, 40 pies y 45 pies. Medida en TEU: 20 pies x 1.0, 40 pies x 2.0, 45 pies x 2.5
Independiente	Tiempo	Es una magnitud física con la que se mide la duración o separación de acontecimientos.	Meses: 1= enero 2= febrero 3= marzo 4= abril 5= mayo 6= junio 7= julio 8= agosto 9= septiembre 10= octubre 11= noviembre 12= diciembre

3.4 Análisis estadísticos utilizados

En este trabajo se utiliza como análisis estadístico, la metodología Box & Jenkins, la cual incluye:

1. Identificación de la serie: Se realiza un análisis descriptivo de la serie para observar qué patrones son los que dominan. Además, se emplea el diferenciado y transformación Box Cox, para estabilizar la serie en media y varianza; y así, hacerla estacionaria. Luego, se identifica los parámetros (p,d,q) del modelo ARIMA; para ello, se realiza los correlogramas simple y parcial de la serie estacionaria.
2. Estimación del modelo ARIMA: Se utiliza la serie estacionaria para estimar los parámetros de los modelos ARIMA propuestos; también, se realiza la significancia de cada parámetro para elegir el mejor modelo.
3. Validación del modelo ARIMA: Para validar los modelos ARIMA propuestos, se hace uso del estadístico Box-Ljung, para comprobar que los residuos de los modelos son independientes; además, en esta etapa se observa por medio del correlograma simple, si los residuos presentan ruido blanco. También, se realiza el histograma de los residuos para validar que estos presentan una distribución normal.
4. Pronóstico: Se utiliza el modelo escogido para pronosticar el número de contenedores importados, que se registran en la AMP para los meses del 2021, y se presenta el modelo generado para el pronóstico.

3.5 Procedimientos

Una vez recolectado los datos históricos y cronológicos del número de contenedores importados, registrados en la AMP: año 2010-2020, se procede a armar la base de datos. Con la ayuda de los software: Microsoft Excel y Statistica 10, se realiza los siguientes análisis.

Se procede a la identificación del modelo, que es el primer paso de la metodología empleada (Box y Jenkins); en esta etapa, se realiza un análisis descriptivo de la serie de tiempo, por medio de los gráficos de línea, y de caja y bigote; en los cuales, se observa si hay presencia de tendencia e irregularidad; además, se hace una breve descripción del comportamiento de la serie. También, se realiza el gráfico de autocorrelación simple, para observar si hay presencia de estacionalidad y ciclicidad.

Identificado los patrones que dominan la serie, se realiza la transformación Box Cox para hacer la serie estacionaria en varianza, y se aplica un diferenciado a la serie, para estabilizarla en media. Al haber logrado estabilizar la serie, tanto en media como en varianza, se valida por medio de los estadísticos: Prueba de B_1 y Levine's.

Se utiliza la serie diferenciada y transformada del número de contenedores importados, registrados en la AMP: año 2010-2020, para identificar los parámetros (p,d,q) del modelo ARIMA; para ello, se elabora los correlogramas simple y parcial. Se prosigue con la etapa dos de la metodología, que es la estimación de los parámetros del modelo ARIMA. En esta etapa se obtiene los parámetros de cada modelo y su significancia; de lo cual depende la elección del mejor modelo.

La tercera etapa de la metodología, consta de la validación de los modelos ARIMA elegidos previamente. En esta etapa se emplea el estadístico Box-Ljung para constatar que los residuos de los modelos son independientes. También, se realiza un histograma para comprobar que los residuos presentan una distribución normal. Luego, se utiliza la medida de error de pronóstico: Raíz del Error Cuadrático Medio (RECM), para comparar errores de predicción de los distintos modelos y se escoge el mejor modelo.

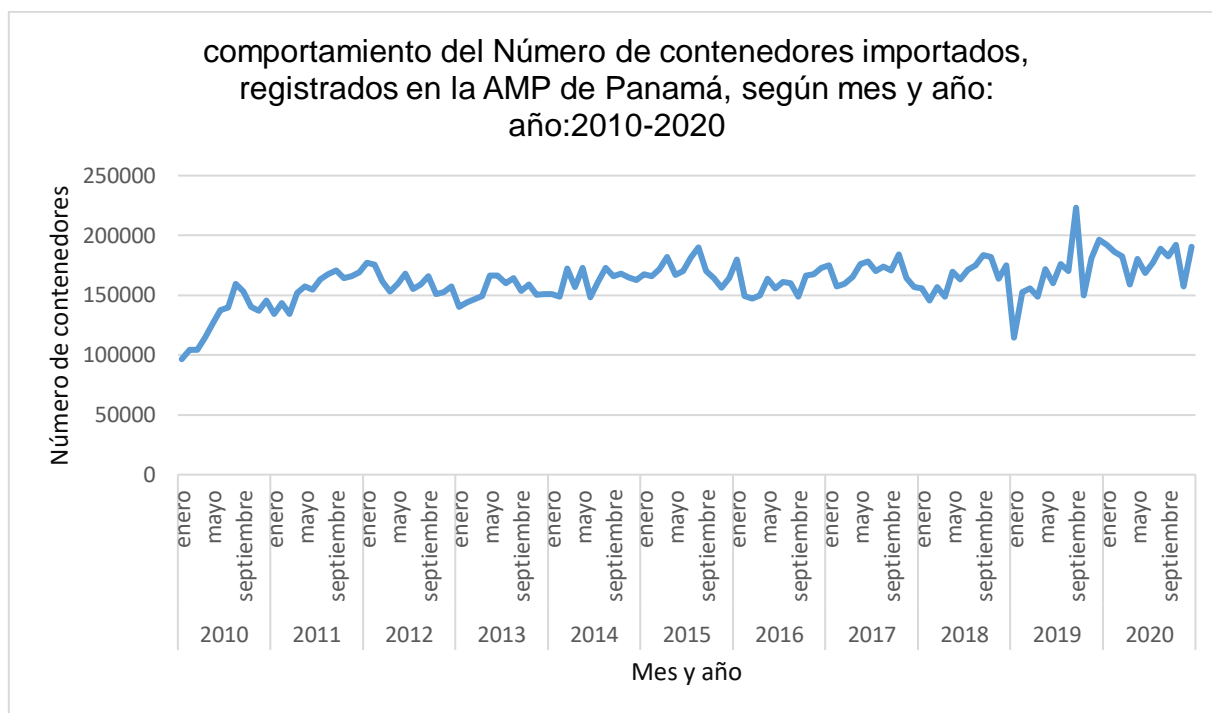
Finalmente, en la etapa 4, que es la de predicción, se presenta los pronósticos del modelo ARIMA elegido con su respectiva ecuación de pronóstico.

Capítulo IV Presentación y análisis de los resultados

4.1. Identificación del modelo.

4.1.1. Análisis descriptivo de la serie de tiempo.

Gráfica 1. Gráfica lineal del número de contenedores importados, registrados en la AMP, según mes y año: año 2010-2020.



Fuente: Elaborado por el autor en base a los datos proporcionados por la AMP.

Software: Microsoft Excel.

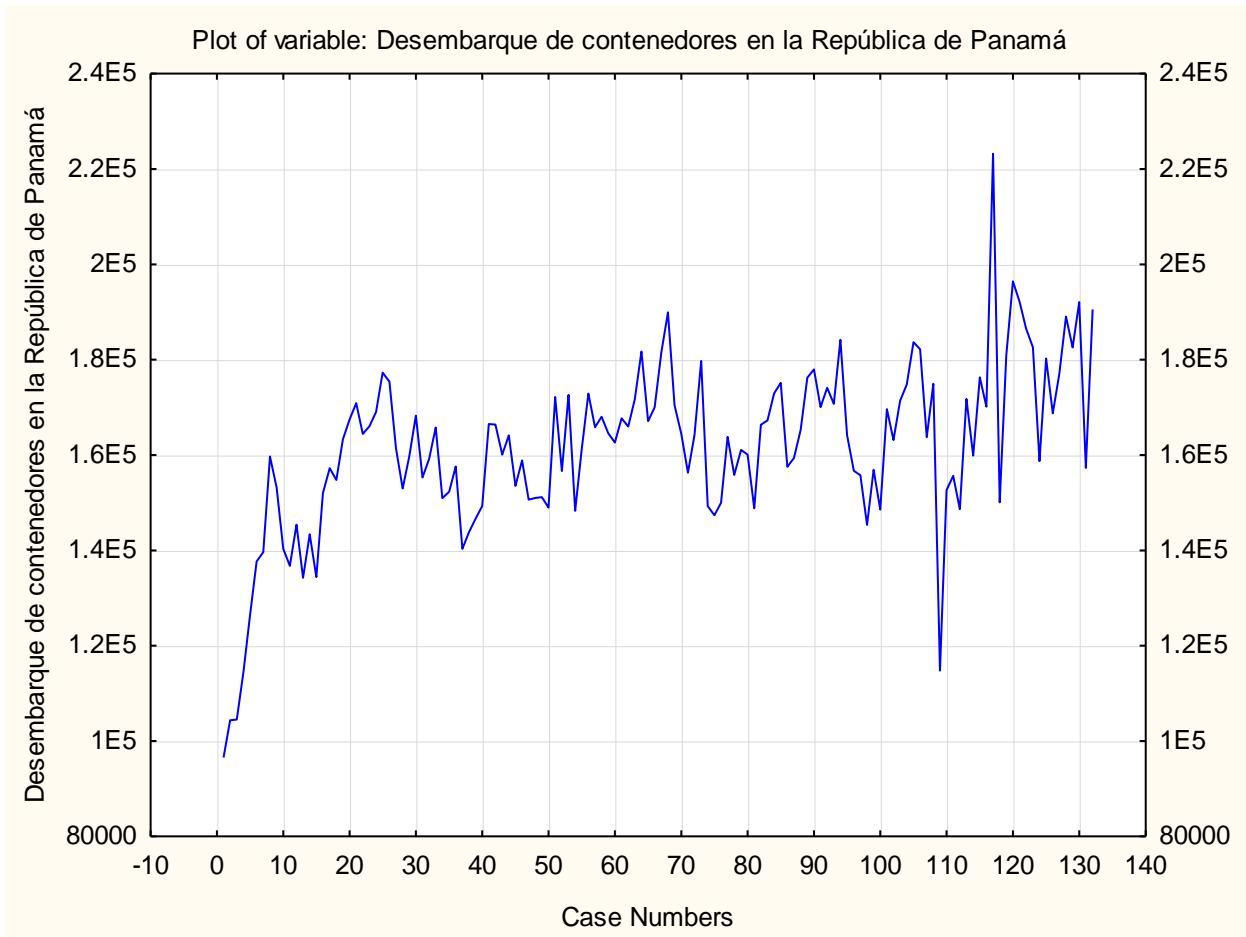
Patrón irregular: consiste en fluctuaciones impredecibles o aleatorias en los datos de la serie de tiempo.

Tendencia: movimientos persistentes ascendentes o descendentes a través del tiempo.

En la gráfica 1 se presenta una serie de periodicidad mensual, en la misma se observa movimientos irregulares; además, se observa una leve tendencia ascendente; por lo cual, se concluye que no es estacionaria. Se recalca que el mes de enero 2019, el número de contenedores disminuyó significativamente, este comportamiento se repite para el mes de octubre del mismo año.

Al haber presencia de tendencia en la serie, será necesario aplicar el método de descomposición de la serie; en este caso, el multiplicativo.

Gráfica 2. Gráfica lineal del número de contenedores importados, registrados en la AMP según mes y año: año 2010-2020.

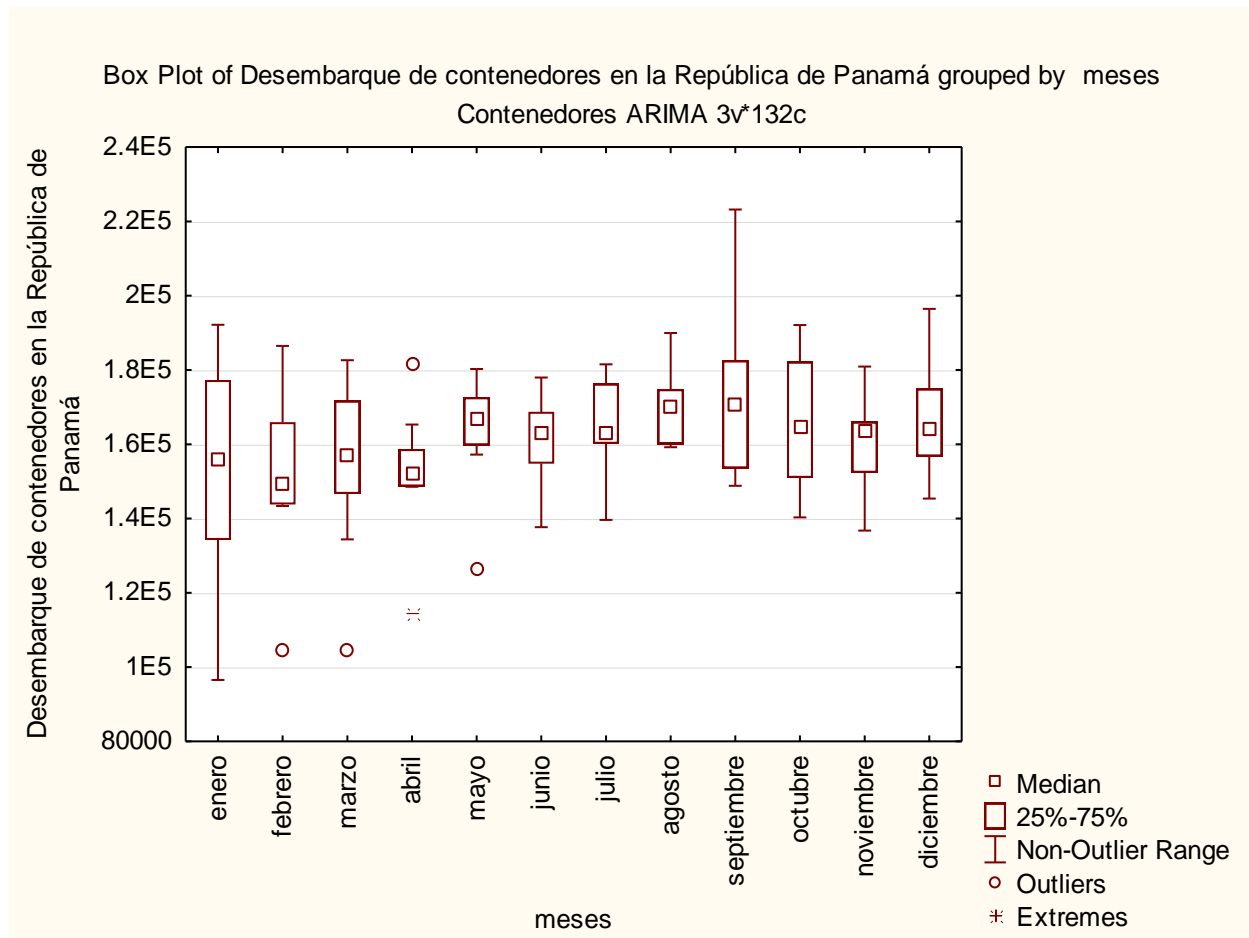


Fuente: Elaborado por el autor en base a los datos proporcionados por la AMP.

Software: Statistica 10.

En la gráfica 2, se corrobora la presencia de tendencia. Es notoria la gran irregularidad que presenta la serie del número de contenedores importados. Esto indica que se debe aplicar diferenciado; para así, estabilizar la serie en su media.

Gráfica 3. Gráfica de caja y bigotes del número de contenedores importados, registrados en la AMP según mes: año 2010-2020.



Fuente: Elaborado por el autor en base a los datos proporcionados por la AMP.

Software: Statistica 10.

En la gráfica 3, se observa a simple vista, una alta irregularidad; lo que indica, que se debe realizar las transformaciones Box Cox; para así, hacer la serie estacionaria en varianza.

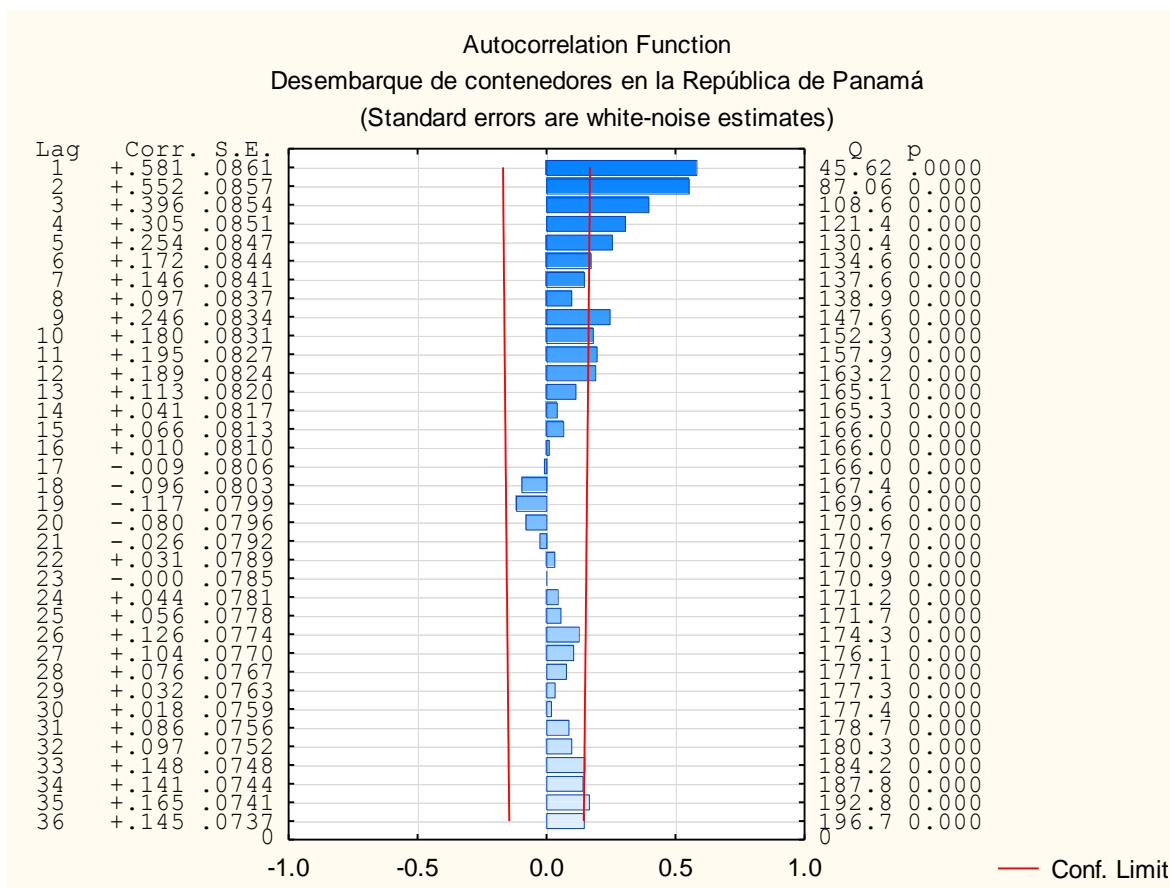
Los meses de septiembre y diciembre, muestran los números de contenedores más altos; por el contrario, los números de contenedores más bajos se registran en el mes de enero.

Sólo el mes de enero presenta una distribución simétrica; a su vez este, y el mes de septiembre, muestran más dispersión en sus datos.

Se puede observar que los meses desde febrero hasta mayo, muestran valores atípicos; los cuales, influyen en esta serie de tiempo, a que presente irregularidad.

Esto explica la alta irregularidad que se presenta en la gráfica lineal de la serie de tiempo. Se puede decir que esta desestabilización es provocada por estos datos atípicos, dado en estos meses.

Gráfica 4. Función de autocorrelación simple del número de contenedores importados, registrados en la AMP: año 2010-2020.



Fuente: Elaborado por el autor en base a los datos proporcionados por la AMP.

Software: Statistica 10.

Estacionalidad: es la repetición de determinadas variaciones en alguna variable cada cierto periodo.

Ciclicidad: son fluctuaciones o cambios en forma de onda o ciclos, de más de un año de duración.

En la gráfica 4, se observa que la serie no presenta estacionalidad; ya que, en el retraso 9 se observa que la barra sobrepasa la banda de confianza, y este comportamiento no se observa 12 meses después; es decir, en el retraso 21.

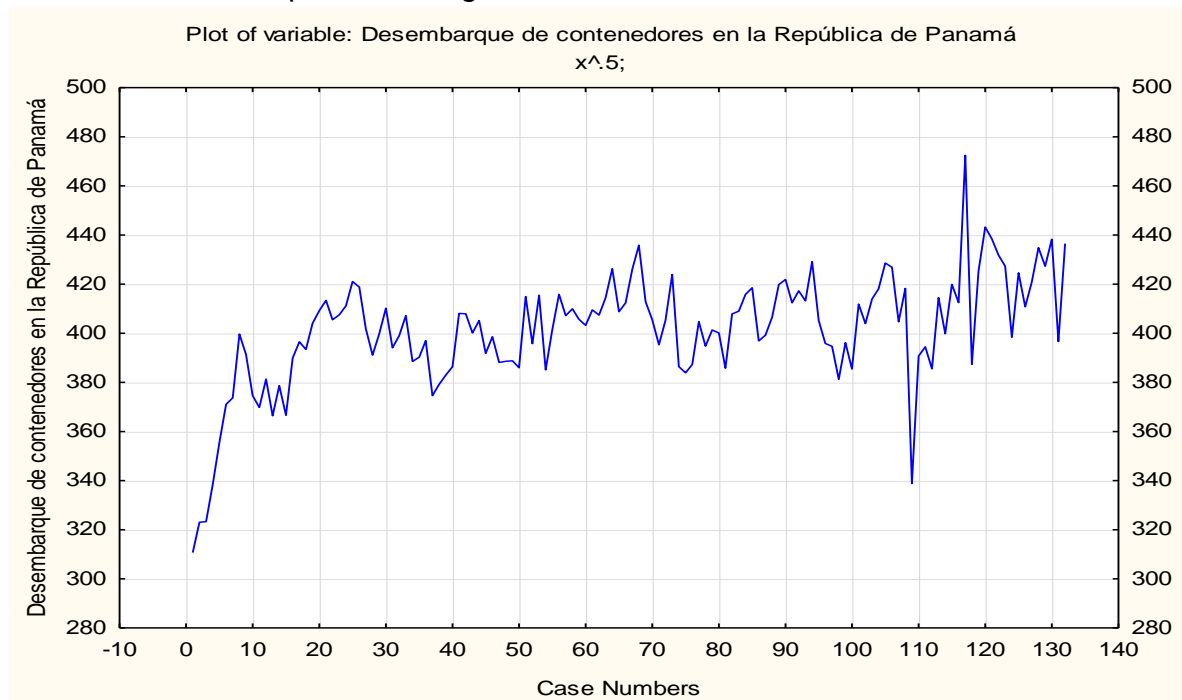
Tampoco hay presencia de ciclicidad; ya que, el movimiento en forma de onda no se repite.

El primer rezago sobrepasa la banda de confianza; lo cual indica que hay correlación.

4.1.2. Transformación de la serie.

Se utiliza el Método de Guerrero o Box Cox, para estabilizar la serie en varianza; en este caso, se realiza una transformación de raíz ($\lambda=0.5$); dado que este mostró un menor coeficiente de variación.

Gráfica 5. Gráfica lineal de la transformación Box Cox, aplicada a la serie del número de contenedores importados, registrados en la AMP: año 2010-2020.

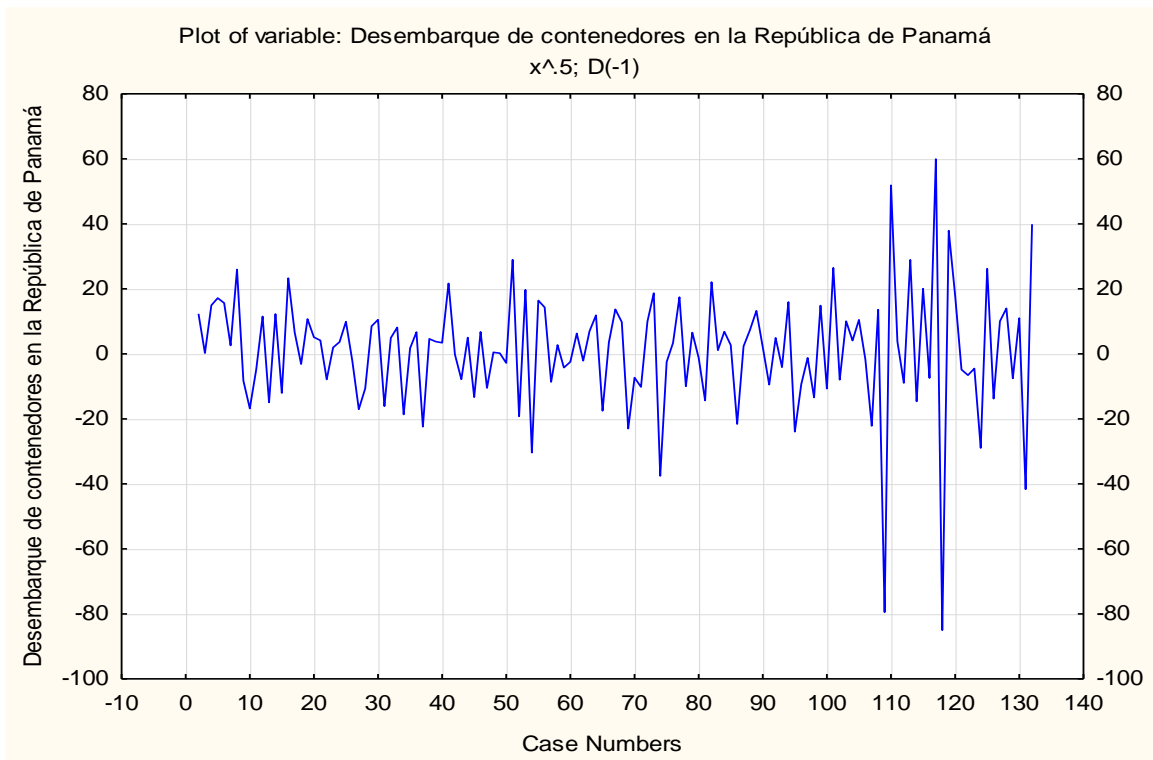


Fuente: Elaborado por el autor en base a los datos proporcionados por la AMP.

Software: Statistica 10.

Al realizar la transformación de Box Cox a la serie, se observa una pequeña disminución en la varianza de los datos.

Gráfica 6. Gráfica lineal de la diferencia y transformación Box Cox aplicada a la serie del número de contenedores importados, registrados en la AMP: año 2010-2020.



Fuente: Elaborado por el autor en base a los datos proporcionados por la AMP.
Software: Statistica 10.

Al realizar el diferenciado a la serie, previamente transformada, se observa que se ha logrado estabilizar en media.

4.1.3. Validación de la serie estacionaria.

Se utiliza la serie estacionaria; es decir, la serie diferenciada y transformada del número de contenedores importados, registrados en la AMP: año 2010-2020, y se realiza las siguientes pruebas estadísticas.

Cuadro 1. Prueba de B_1 : serie estacionaria en media.

Effect	Univariate Tests of Significance for número de contenedores importados, registrados en al AMP (Contenedores ARIMA) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p-valor
Intercept	3.444019E+12	1	3.444019E+12	11307.48	0.000000
meses	6.251783E+09	11	5.683439E+08	1.87	0.050482
Error	3.654947E+10	120	3.045789E+08		

Fuente: Elaborado por el autor en base a los datos proporcionados por la AMP.

Software: Statistica 10

Hipótesis:

H_0 : $B_1 = 0$; no existe cambio, es decir, la media es constante en todo el recorrido de la serie.

H_1 : $B_1 \neq 0$; existe cambio; es decir, la media no es contante en todo el recorrido de la serie.

Decisión: Se acepta H_0

Conclusión:

Se concluye que la media es constante en todo el recorrido de la serie, es decir, la serie es estacionaria en media.

4.1.4. Validación de homocedasticidad.

Cuadro 2. Prueba de Levine's: serie estacionaria en varianza

Levene's Test for Homogeneity of Variances (Contenedores ARIMA) Effect: meses Degrees of freedom for all F's: 11, 120				
	MS	MS	F	p-valor
	Effect	Error		
Número de contenedores importados, registrados en la AMP	2.03E+08	1.28E+08	1.584784	0.111621

Fuente: Elaborado por el autor en base a los datos proporcionados por la AMP.
Software: Statistica 10.

Hipótesis:

$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2, \dots, \sigma_{12}^2 = \sigma$; no existe cambio, es decir, que la varianza es constante en todo el recorrido de la serie.

$H_1: \sigma_i^2 \neq \sigma_j^2$; existe cambio; es decir, por lo menos una varianza difiere.

Decisión: se acepta H_0

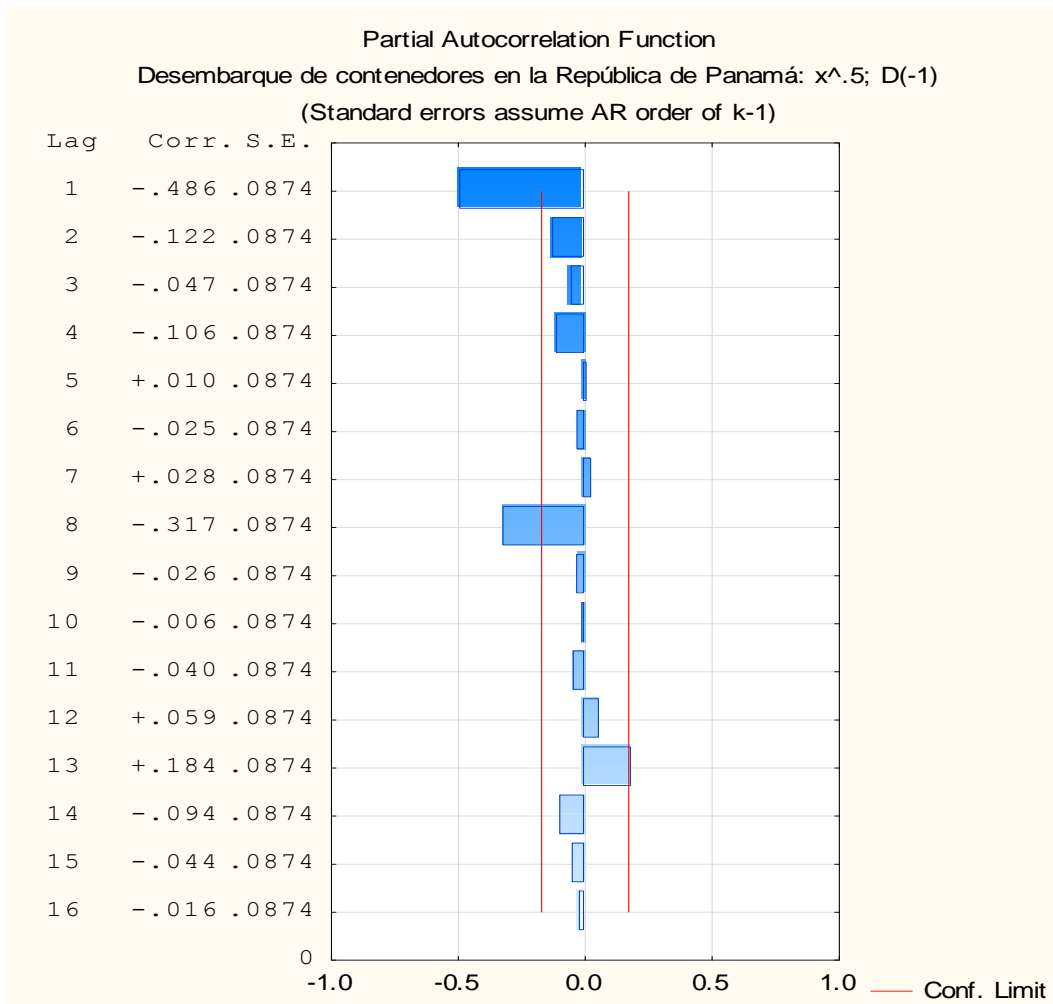
Conclusión:

Se concluye que la varianza es constante en todo el recorrido de la serie; es decir, la serie es estacionaria en varianza.

4.1.5. Identificación de los parámetros (p,d,q) del modelo ARIMA.

Se utiliza la serie diferenciada y transformada del número de contenedores importados, registrados en la AMP: año 2010-2020, para identificar los parámetros del Modelo ARIMA (p,d,q); para ello, se realiza el correlograma simple y parcial.

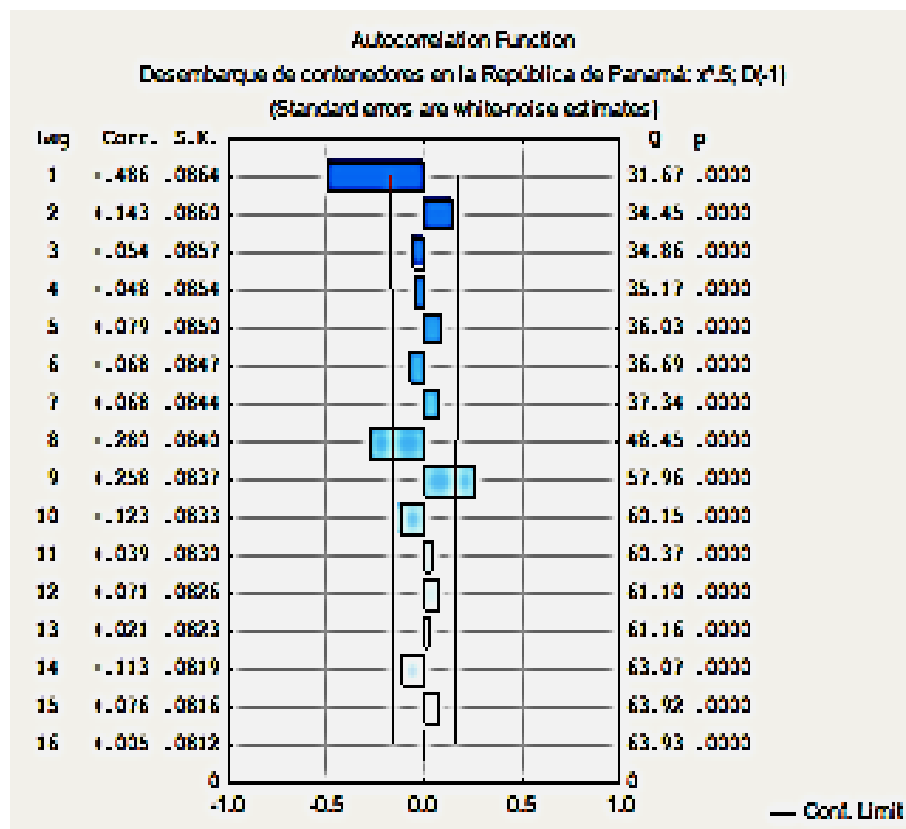
Gráfica 7. Función de autocorrelación parcial AR(p) del número de contenedores importados, registrados en la AMP: año 2010-2020



Fuente: Elaborado por el autor en base a los datos proporcionados por la AMP.
Software: Statistica 10.

En el correlograma parcial se observa que el primer rezago sobresale la banda de confianza; lo cual indica, que es altamente correlacional; por esta causa la propuesta para el AR será "1".

Gráfica 8. Función de autocorrelación simple MA (q) del número de contenedores importados, registrados en la AMP: año 2010-2020.



Fuente: Elaborado por el autor en base a los datos proporcionados por la AMP.
Software: Statistica 10.

En la gráfica 8, se observa que el primer rezago sobresale la banda de confianza, lo cual indica una alta correlación; por lo tanto, la propuesta para el MA será "1".

Una vez observado los correlogramas simple y parcial, se presenta las siguientes propuestas de modelos ARIMA:

Tabla 1. Propuesta de modelos ARIMA para la serie del número de contenedores importados, registrados en la AMP: año 2010-2020.

ARIMA	(p	d	q)
propuestas de modelos	AR	I	MA
1ro	1	1	1
2do	1	1	0
3ro	0	1	1

Fuente: Elaborado por el autor en base a los datos proporcionados por la AMP.

Software: Microsoft Excel.

Dado que solo se aplicó un diferenciado a la serie, el parámetro (d) siempre será 1. Al observar el correlograma simple y parcial, en ambos, solo el primer rezago sobresale la banda de confianza; por eso, establecemos como primera propuesta: AR (1) y MA(1).

4.2. Estimación del modelo ARIMA.

En esta etapa se estima los parámetros de los modelos Arima propuestos y se realiza la significancia de cada uno para elegir el modelo adecuado.

Cuadro 3. Estimación y significancia del parámetro para el modelo ARIMA (1,1,1).

Input: Número de contenedores importados, registrados en la AMP (Contenedores ARIMA) Transformations: x ^{.5} ,D(1) Model:(1,1,1) MS Residual= 271.10						
Paramet.	Param.	Asympt. Std.Err.	Asympt. t(129)	p-valor	Lower 95% Conf	Upper 95% Conf
p(1)	-0.2996	0.1863	-1.6078	0.1103	-0.6684	0.0691
q(1)	0.2614	0.1928	1.3558	0.1775	-0.1201	0.6429

Fuente: Elaborado por el autor en base a los datos proporcionados por la AMP.

Software: Statistica 10.

Se obtiene que para el modelo (1,1,1), el p-valor para AR(1) es 0.11 y MA(1) es 0.17; siendo ambos mayores al 5%, se concluye que no es estadísticamente significativo, por lo tanto, este modelo no es apropiado para explicar este conjunto de datos.

Cuadro 4. Estimación y significancia del parámetro para el modelo ARIMA (1,1,0).

Input: Número de contenedores importados, registrados en la AMP (Contenedores ARIMA) Transformations: x ^{.5} ,D(1) Model:(1,1,0) MS Residual= 272.73						
Paramet.	Param.	Asympt. Std.Err.	Asympt. t(130)	p-valor	Lower 95% Conf	Upper 95% Conf
p(1)	-0.50037	0.0780	-6.4148	0.00001	-0.6546	-0.3460

Fuente: Elaborado por el autor en base a los datos proporcionados por la AMP.

Software: Statistica 10.

Para el modelo (1,1,0), el p-valor es de 0.00001, siendo menor que el 5%; se concluye que es estadísticamente significativo; por lo tanto, el modelo es bueno para explicar este conjunto de datos.

Cuadro 5. Significancia del parámetro para el modelo ARIMA (0,1,1).

Input: Número de contenedores importados, registrados en la AMP (Contenedores ARIMA) Transformations: x ^{.5} ,D(1) Model:(0,1,1) MS Residual= 273.63						
Paramet.	Param.	Asympt. Std.Err.	Asympt. t(130)	p-valor	Lower 95% Conf	Upper 95% Conf
q(1)	0.5145	0.0742	6.9338	0.00001	0.3677	0.6613

Fuente: Elaborado por el autor en base a los datos proporcionados por la AMP.

Software: Statistica 10.

Al igual que el modelo anterior, el p-valor es 0.00001, siendo este valor estadísticamente significativo, y a su vez, apropiado para explicar el conjunto de datos.

4.3. Validación del modelo ARIMA.

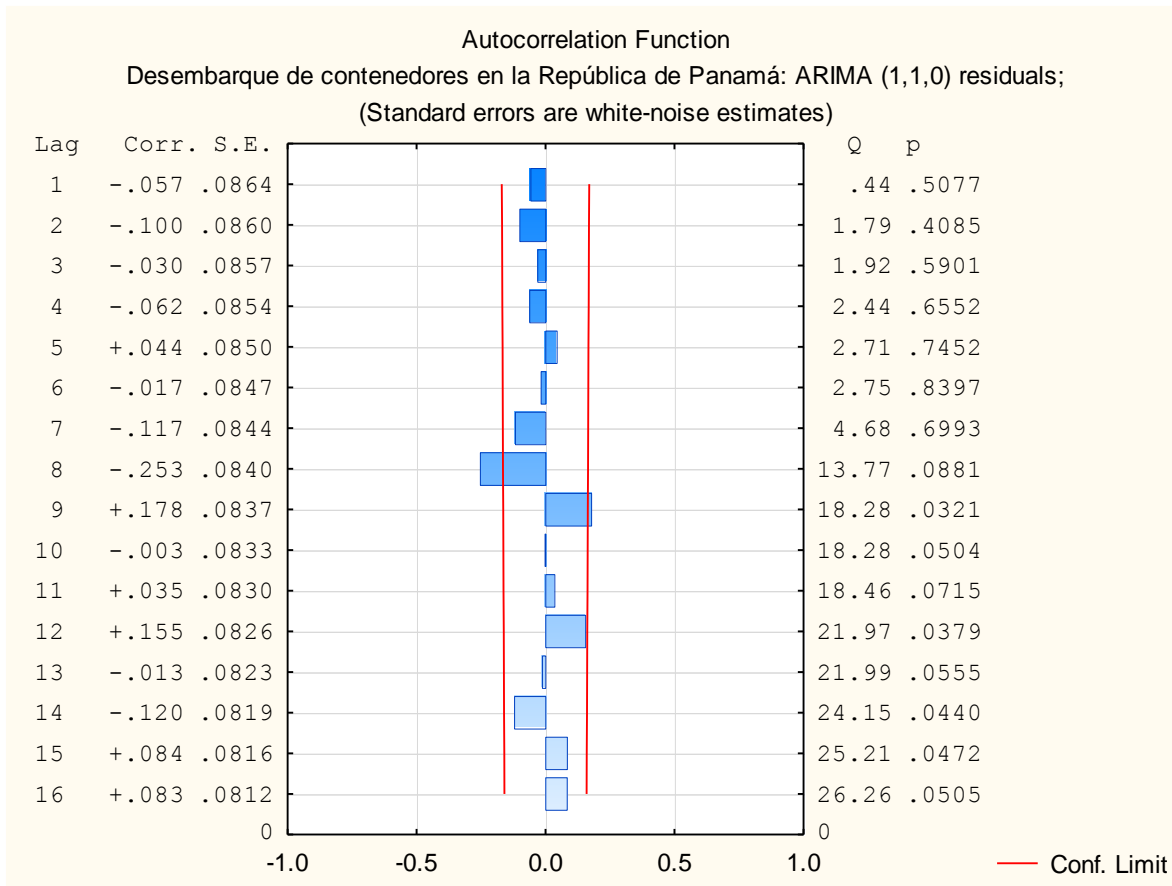
En esta etapa se realiza la validación de los modelos ARIMA propuestos; para ello, se utiliza el estadístico Box-Ljung, para probar que los residuos no presentan autocorrelación; es decir, son independientes; y así, determinar si el modelo es adecuado.

Hipótesis:

$H_0 = \rho = 0$, Los residuos no presentan autocorrelación; es decir, son independientes.
El modelo es satisfactorio.

$H_1 = \rho \neq 0$, los residuos presentan autocorrelación; es decir, no son independientes.
El modelo no es adecuado.

Gráfica 9. Función de autocorrelación simple de los residuos del Modelo ARIMA (1,1,0)



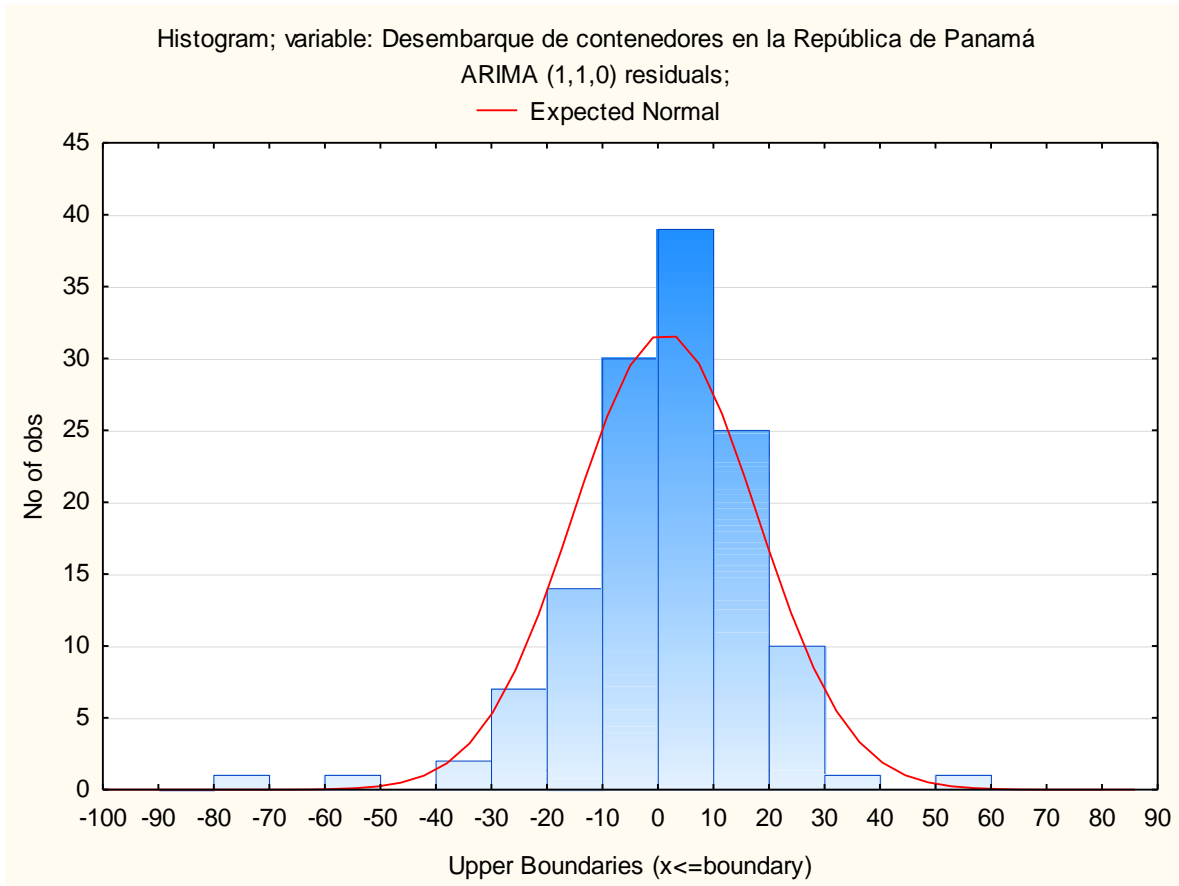
Fuente: Elaborado por el autor en base a los datos proporcionados por la AMP.

Software: Statistica 10.

En la gráfica se observa que la mayoría de los retardos están dentro de la banda de confianza; por lo tanto, se concluye que este modelo presenta ruido blanco.

Se emplea el estadístico Box-Ljung, y se observa que la probabilidad de los valores de "Q" de la gráfica de autocorrelación simple son mayores a 0.025; por lo tanto, se acepta H_0 , y se concluye que los residuos de este modelo no presentan autocorrelación; es decir, son independientes.

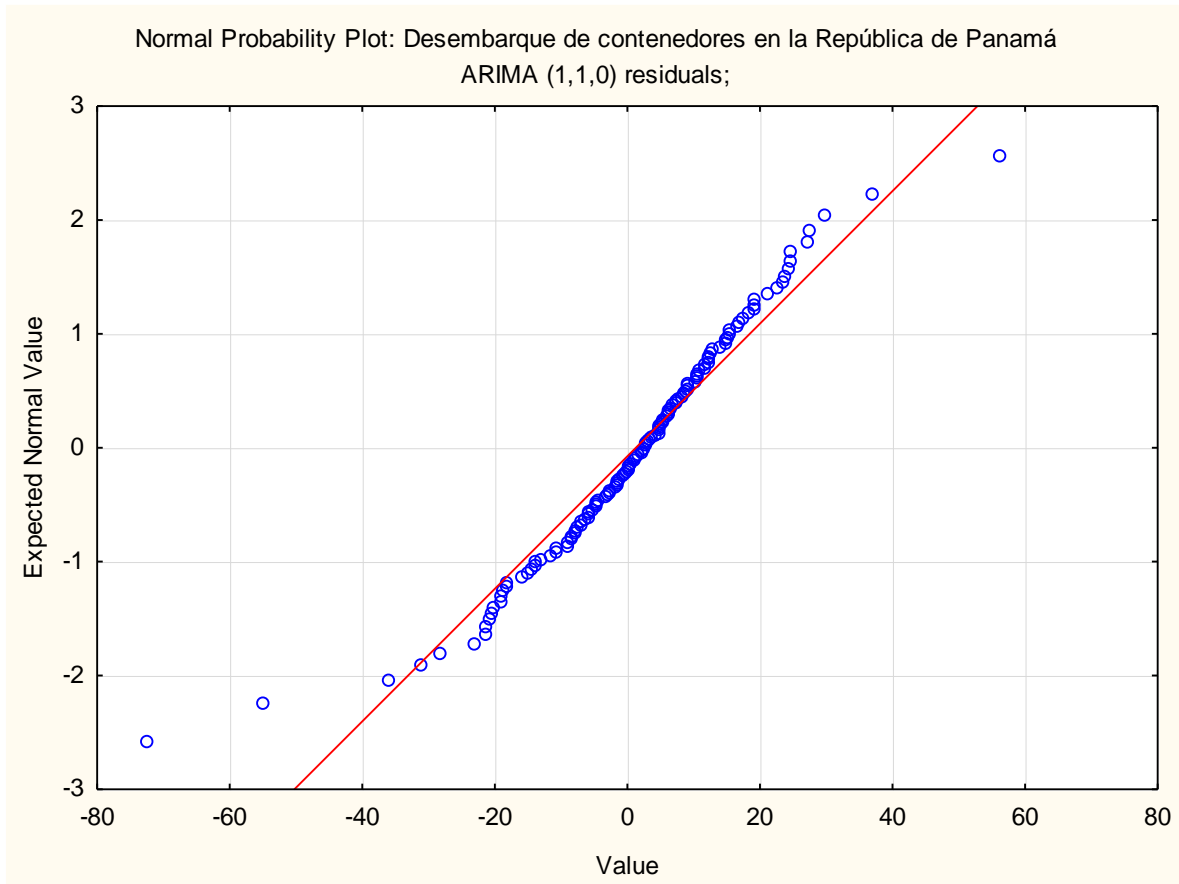
Gráfica 10. Prueba de normalidad: Histograma de los residuos del modelo ARIMA (1,1,0).



Fuente: Elaborado por el autor en base a los datos proporcionados por la AMP.
Software: Statistica 10.

Se puede observar que los residuos de este modelo se distribuyen en forma de campana; por lo tanto, se concluye que siguen una distribución normal.

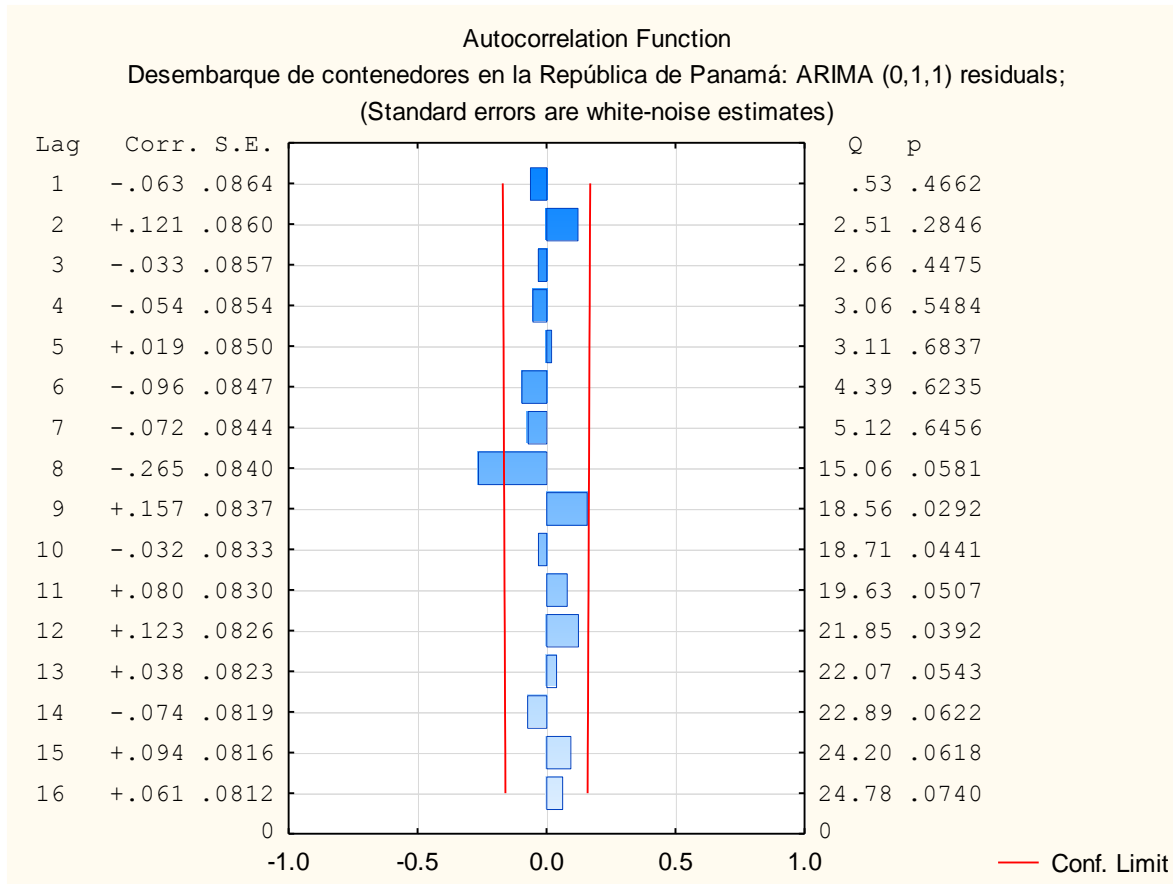
Gráfica 11. Probabilidad normal de los residuos del modelo ARIMA (1,1,0).



Fuente: Elaborado por el autor en base a los datos proporcionados por la AMP.
Software: Statistica 10.

En la gráfica 11 se observa que los residuos del modelo ARIMA (1,1,0) se distribuye normalmente, ya que los puntos se ajustan a la recta.

Gráfica 12. Función de autocorrelación simple de los residuos del Modelo ARIMA (0,1,1).



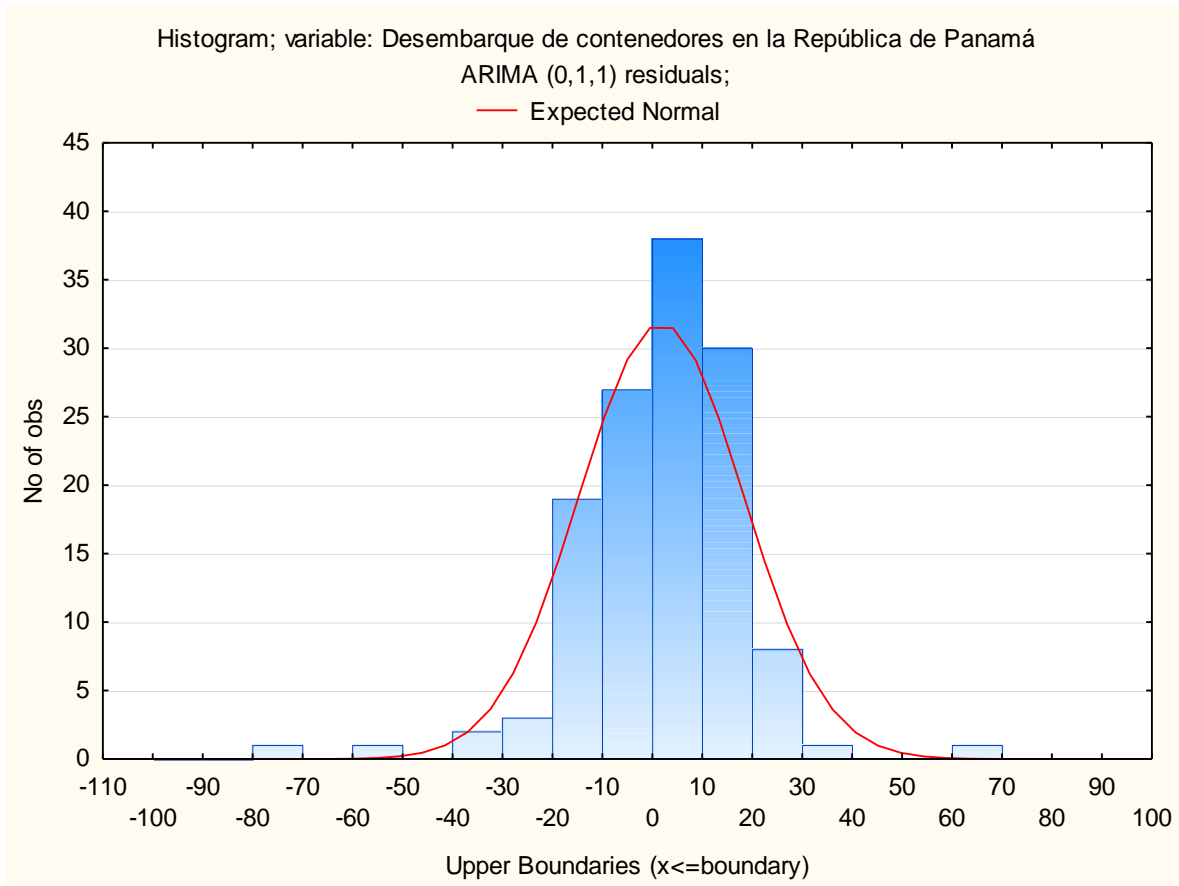
Fuente: Elaborado por el autor en base a los datos proporcionados por la AMP.

Software: Statistica 10.

En la gráfica 12 de la función de autocorrelación simple, se observa que la mayoría de los retardos están dentro de la banda de confianza; por lo tanto, se concluye que este modelo presenta ruido blanco.

Se observa que la probabilidad de los valores de “Q” en la gráfica de autocorrelación simple, son mayores a 0.025; por lo tanto, se acepta H_0 ; por lo cual, se concluye que los residuos de este modelo no presentan autocorrelación; es decir, son independientes.

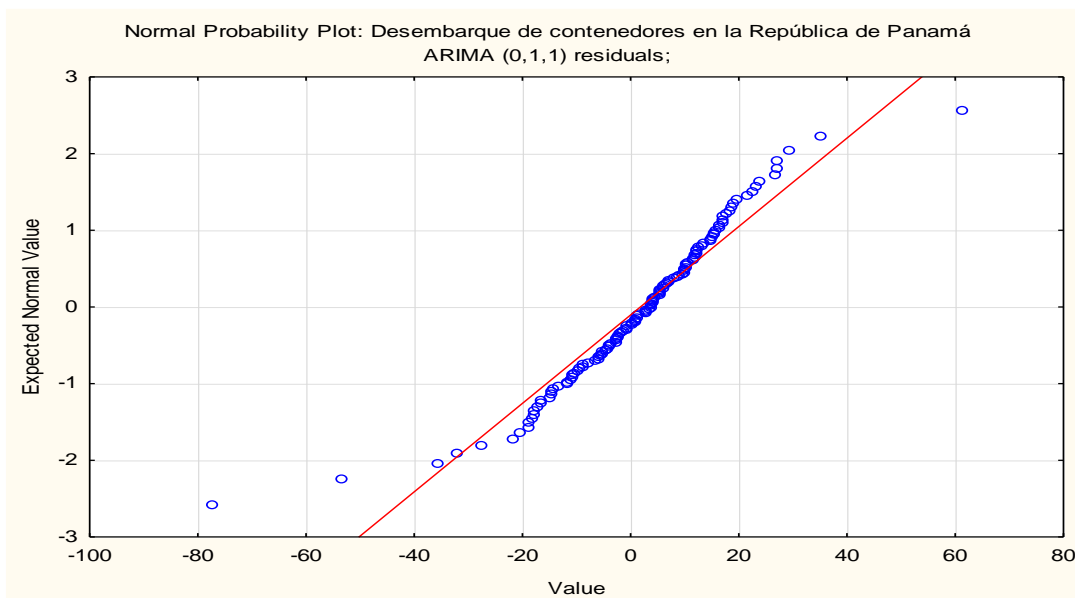
Gráfica 13. Prueba de normalidad: Histograma de los residuos del modelo ARIMA (0,1,1).



Fuente: Elaborado por el autor en base a los datos proporcionados por la AMP.
Software: Statistica 10.

En este histograma, se observa que los residuos del modelo tienen forma de campana, por lo que se concluye que sigue una distribución normal.

Gráfica 14. Probabilidad normal de los residuos del modelo ARIMA (0,1,1).



Fuente: Elaborado por el autor en base a los datos proporcionados por la AMP.
Software: Statistica 10.

La gráfica de probabilidad normal, muestra que los residuos del modelo se ajustan a la recta, por lo tanto, se concluye que sigue una distribución normal.

Tabla 2. Medición de error de pronóstico de los modelos ARIMA propuestos.

Medición de error de pronóstico	
Modelo ARIMA	RECM
(1,1,0)	8955.08
(0,1,1)	7818.18

Fuente: Elaborado por el autor en base a los datos proporcionados por la AMP.
Software: Microsoft Excel.

La Raíz del Error cuadrático Medio (RECM) es una medida de precisión, para comparar errores de predicción de diferentes modelos.

Al realizar la medición RECM, se tiene que el modelo (0,1,1) presenta el menor error. Hasta el momento se podría concluir, que este modelo es el mejor para pronosticar el número de contenedores importados, registrados en la AMP: año 2010-2020; pero en el siguiente paso al realizar las predicciones, se observa que este modelo arroja predicciones invariables para todos los meses del año 2021 (ver anexo, tabla 6). Por el contrario, el modelo ARIMA (1,1,0) presenta una mejor

predicción; por lo cual, se toma la decisión de elegir el modelo ARIMA (1,1,0) para pronosticar el número de contenedores importados, registrados en la AMP: año 2010-2020.

4.4. Predicción y Evaluación de la capacidad del modelo predictivo.

Se presenta la tabla de pronóstico del número de contenedores importados, registrados en la AMP para los meses de enero-octubre del 2021. Modelo ARIMA (1,1,0).

Tabla 3. Pronóstico del número de contenedores importados, registrados en la AMP, para los meses de enero-octubre 2021. Modelo ARIMA (1,1,0).

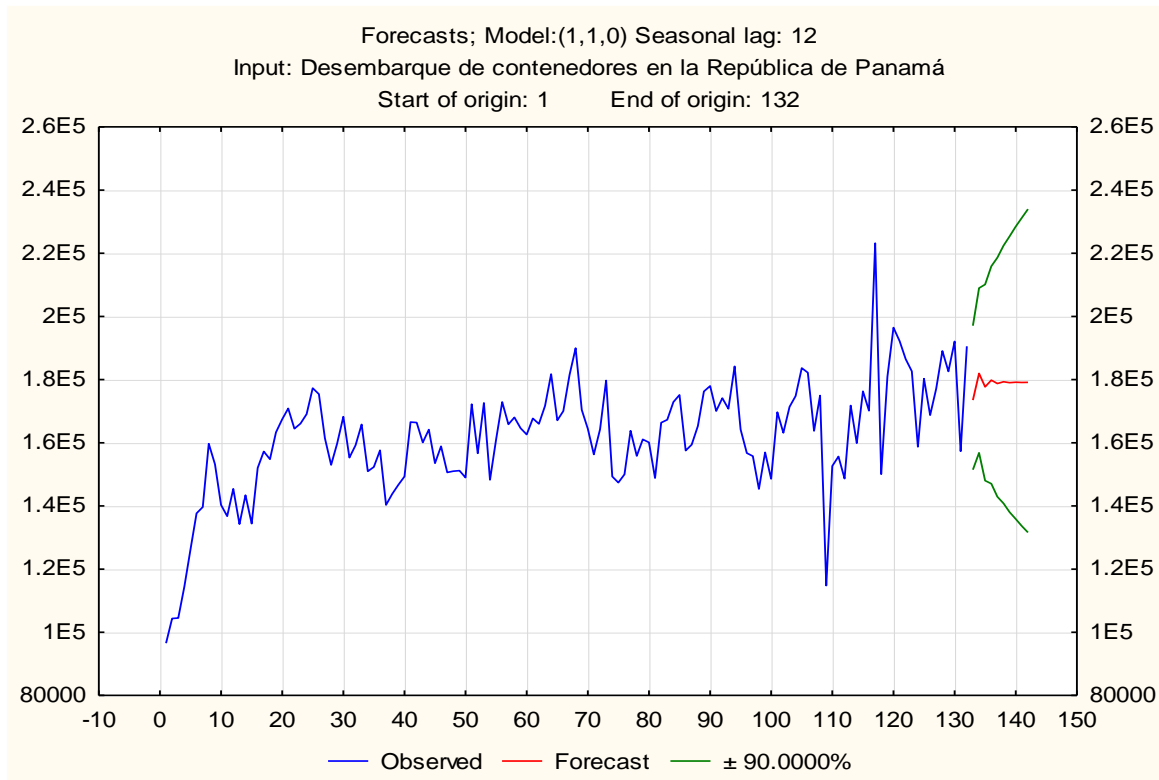
Pronóstico del Número de contenedores importados, registrados en la AMP: año 2021. Modelo ARIMA (1,1,0).				
Año	Meses	Pronóstico	Lim. inferior	Lim. superior
2021	enero	173516.6	151472.2	197058.1
	febrero	181939.5	156784.2	208965.4
	marzo	177699.9	148005.9	210106.8
	abril	179815.0	147029.2	215897.9
	mayo	178755.1	142920.4	218594.3
	junio	179285.1	140781.7	222437.2
	julio	179019.8	138020.8	225343.1
	agosto	179152.5	135839.9	228449.2
	septiembre	179086.1	133601.6	231222.3
	octubre	179119.3	131584.7	233969.4

Fuente: Elaborado por el autor en base a los datos proporcionados por la AMP.

Software: Statistica 10.

En la tabla 3 se observa el pronóstico del número de contenedores importados, registrados en la AMP, con el modelo ARIMA (1,1,0) para los meses del 2021. Se observa que este modelo ARIMA es bueno, ya que su pronóstico es variable.

Gráfica 15. Pronóstico del número de contenedores importados, registrados en la AMP, para los meses de enero-octubre 2021. Modelo ARIMA (1,1,0).



Fuente: Elaborado por el autor en base a los datos proporcionados por la AMP.
 Software: Statistica 10.

En la gráfica 15 se presenta el pronóstico para los meses del 2021 del número de contenedores importados, registrados en la AMP, con el modelo ARIMA (1,1,0); en el cual se observa que este pronóstico es variable.

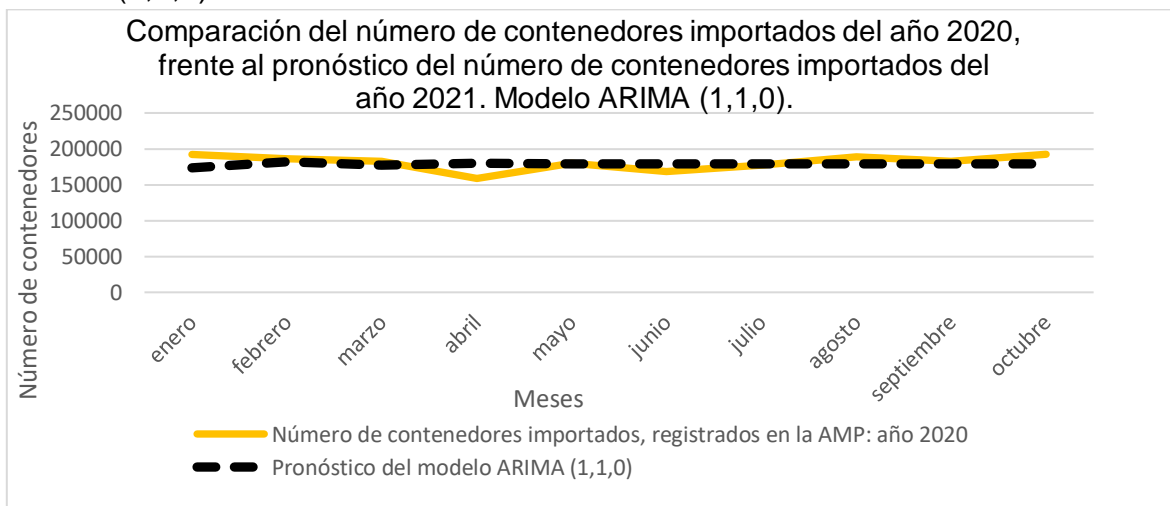
Tabla 4. Comparación del número de contenedores importados, registrados en la AMP del año 2020, frente al pronóstico del año 2021. Modelo ARIMA (1,1,0).

Meses	Datos reales (2020)	ARIMA (1,1,0)
enero	192176	173516.6
febrero	186489	181939.5
marzo	182612	177699.9
abril	158710	179815.0
mayo	180260	178755.1
junio	168744	179285.1
julio	177098	179019.8
agosto	189065	179152.5
septiembre	182566	179086.1
octubre	192084	179119.3

Fuente: Elaborado por el autor en base a los datos proporcionados por la AMP.
Software: Microsoft Excel.

La tabla 4 muestra, que según el pronóstico ARIMA (1,1,0) el número de contenedores importados aumentará para los meses de abril, junio y julio del 2021.

Gráfica 16. Comparación del número de contenedores importados del año 2020, frente al pronóstico del número de contenedores importados del año 2021. Modelo ARIMA (1,1,0).



Fuente: Elaborado por el autor en base a los datos proporcionados por la AMP.
Software: Microsoft Excel.

En el gráfico 16 se presenta el pronóstico del número de contenedores importados, registrados en la AMP, para el año 2021 y los datos reales del año anterior (2020). Se puede apreciar que el pronóstico es bastante parecido al dato real del número de contenedores importados del año anterior. No tiende al aumento ni disminución, sino que oscila alrededor del dato real.

Para evaluar la capacidad del modelo predictivo, se presenta la tabla 4 con las medidas de error de pronóstico del modelo ARIMA (1,1,0).

Tabla 5. Medición de error de pronóstico del Modelo ARIMA (1,1,0) del número de contenedores importados, registrados en la AMP: año 2010-2020.

Meses	Número de contenedores importados	Modelo (1,1,0)	Medición de error de pronóstico		
			MAD	MPE	MAPE
enero	192176	173516.6	18659.4	0.0971	0.0971
febrero	186489	181939.5	4549.5	0.0244	0.0244
marzo	182612	177699.9	4912.1	0.0269	0.0269
abril	158710	179815.0	21105.0	-0.1330	0.1330
mayo	180260	178755.1	1504.9	0.0083	0.0083
junio	168744	179285.1	10541.1	-0.0625	0.0625
julio	177098	179019.8	1921.8	-0.0109	0.0109
agosto	189065	179152.5	9912.5	0.0524	0.0524
septiembre	182566	179086.1	3479.9	0.0191	0.0191
octubre	192084	179119.3	12964.7	0.0675	0.0675
		promedio	8955.1	0.0089	0.0502

Fuente: Elaborado por el autor en base a los datos proporcionados por la AMP. Software: Microsoft Excel.

La Desviación Absoluta Media (MAD), mide la dispersión del error de pronóstico en las unidades de la serie original. Esta medida indica, que el pronóstico del número de contenedores importados, presenta un error de 8,955.1 unidades.

El Porcentaje de Error Medio (MPE), indica cuán desviada está la técnica de pronóstico usada, si tiende a cero no hay sesgo. Esta medida muestra un valor de 0.0089; es decir que el modelo predictivo empleado es satisfactorio, ya que este valor tiende a cero.

El Error Porcentual Absoluto Medio (MAPE), es un indicador que mide el tamaño del error en términos porcentuales. Indica qué tan grandes son los errores de

pronóstico. El MAPE muestra un valor de 0.0502; es decir, el pronóstico está errado en un 5%. Por lo tanto, se concluye que este modelo es apropiado para pronosticar el número de contenedores importados, registrados en la AMP, para el periodo del año 2021.

4.4.1. Ecuación de pronóstico.

Ecuación de pronóstico del número de contenedores importados, registrados en la AMP, para el período del 2021.

El modelo ARIMA adecuado para modelar el número de contenedores importados, registrados en la AMP es: ARIMA (1,1,0), y tiene la siguiente forma:

$$Y_{t+k} = -0.5003 y_{t-1} + \varepsilon_t$$

Conclusión

Una vez terminado el estudio, se llega a las siguientes conclusiones:

- El número de contenedores importados, registrados en la AMP: año 2010-2020, es una serie que puede ser modelada mediante un modelo ARIMA, según la metodología de Box y Jenkins; ya que cumple con los supuestos básicos necesarios para su adecuación, siendo estacionaria, no autocorrelación, los residuos son ruido blanco y presentan una distribución normal; por lo tanto, se acepta la hipótesis nula, que el modelo ARIMA es adecuado para pronosticar el número de contenedores importados, registrados en la AMP para el año 2021.
- El comportamiento de la serie de tiempo es descrito por el modelo ARIMA, cuya ecuación es:

$$Y_{t+k} = -0.5003 y_{t-1} + \varepsilon_t$$
- La validez del pronóstico para el modelo fue de una Desviación Absoluta Media (MAD) de 8955.1, el Porcentaje Medio de Error (MPE) de 0.0089, y el Porcentaje Medio de Error Absoluto (MAPE) de 0.05; es decir, el modelo de pronóstico está errado en un 5%.
- Al analizar el comportamiento del número de contenedores importados, por medio del análisis descriptivo, se observa la presencia de tendencia creciente, lo cual indica que el número de contenedores importados tiende a aumentar al transcurrir de los años. Además, al analizar la tabla 4 de la comparación del número de contenedores importados del año 2020 frente al pronóstico para los meses del 2021, se observa que los meses de abril, junio y julio podría incrementar; en base a esto, se concluye que este modelo de pronóstico aportará a los tomadores de decisiones para prever la falta de infraestructura, ya que, como se ha logrado evidenciar, el número de contenedores aumenta y este modelo lo corrobora.

Recomendaciones

- Debido a que esta serie presenta las características antes mencionadas, se sugiere considerar los modelos ARIMA para pronosticar, dado que la serie no es estacional y es posible transformarla a estacionaria tanto en media como en varianza.
- Renovar el modelo de pronóstico de este trabajo, cada año con la actualización del número de contenedores importados, registrados en la AMP.
- Realizar otras investigaciones, utilizando, por ejemplo, el número de contenedores exportados e importados para crear modelos de pronóstico.

Referencias

- Autoridad marítima de Panamá. (s.f.). Obtenido de <https://www.amp.gob.pa/newsite/spanish/puertos2/sistportuario.html>
- Autoridad Marítima de Panamá. (2014). *Memoria Anual 2014*. Panamá.
- Autoridad Marítima de Panamá. (2019). *Memoria Anual 2019*. Panamá.
- Autoridad Marítima de Panamá. (s.f.). *Autoridad Marítima de Panamá*. Obtenido de <https://amp.gob.pa/acerca-de-nosotros/misionyvision/>
- Fernández, S. D. (s.f.). *www.estadistica.net*. Obtenido de Series Temporales: Modelo ARIMA: <https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://www.estadistica.net/ECONOMETRIA/SERIES-TEMPORALES/modelo-arima.pdf&ved=2ahUKEwj5bvX-5fxAhUdQzABHXy7CFIQFjAAegQIAxAC&usg=AOvVaw3S13-5LixUmfRdhh5Z8A5>
- García, T. R. (2015). *Predicción de tráfico de contenedores a corto plazo mediante técnicas de minería de datos: Redes neuronales artificiales y redes bayesianas*. Madrid.
- Grúas y Aparejos*. (s.f.). Obtenido de Cranes and Machinery: <https://www.gruasyaparejos.com/contenedores-maritimos/terminal-portuaria/>
- Guías Jurídicas. (s.f.). *Guías Jurídicas*. Obtenido de Modelo ARIMA: <https://guiasjuridicas.wolterskluwer.es>
- Quisbert, N. C. (1997). *MODELOS ARIMA*. Obtenido de Revista Ciencia y Cultura: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-33231997000100005&lng=es&tlng=es.
- Support.minitab. (2019). *Soporte de Minitab 18*. Obtenido de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/time-series/supporting-topics/diagnostic-checking/what-is-the-ljung-box-q-statistic/>
- Wiki New. (s.f.). *Wiki New*. Obtenido de https://es.wikinew.wiki/wiki/Dickey-Fuller_test
- wikipedia. (s.f.). Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Red_bayesiana
- Wikipedia. (s.f.). *Wikipedia*. Obtenido de [https://es.m.wikipedia.org/wiki/Modelo_autorregresivo_integrado_de_media_móvil](https://es.m.wikipedia.org/wiki/Modelo_autorregresivo_integrado_de_media_m%C3%B3vil)

Wikipedia. (s.f.). *Wikipedia*. Obtenido de

https://es.m.wikipedia.org/wiki/Metodología_de_Box-Jenkins

Zegarra Méndez, E. (abril de 2017). *Banco Interamericano de Desarrollo (BID)*.

Obtenido de Gestión del agua, valoración y desempeño económico del

Canal de Panamá: [https://publications.iadb.org/es/gestion-del-agua-](https://publications.iadb.org/es/gestion-del-agua-valoracion-y-desempeno-economico-del-Canal-de-panama)

[valoracion-y-desempeno-economico-del-Canal-de-panama](https://publications.iadb.org/es/gestion-del-agua-valoracion-y-desempeno-economico-del-Canal-de-panama)

Anexos

Cronograma de actividades

	2021												
	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES												TOTAL
	ABRIL			MAYO			JUNIO			JULIO			
Coordinación para la conformación y elaboración del Anteproyecto	(5-9)												10Hrs.
Coordinación y Planteamiento con los Profesores de grado para el desarrollo del Anteproyecto	(12-16)												10Hrs.
Coordinación con los Directivos y personal encargado de las operaciones de los servicios de transporte Marítimos en la AMP	(19-23)												10Hrs.
Preparación del plan de trabajo según de materiales didácticos			(26-30)										10Hrs.
Paquetes Estadísticos				(3-7)									10Hrs.
Tutoría y dinámica para el desarrollo y planteamiento del Anteproyecto					(10-14)								10Hrs.
Revisión Metodológica						(17-21)							15 Hrs.
Revisión General							(24-29)						10Hrs.
								(1-4)					10Hrs.

Cronograma de presupuestos.

Proyecto: tesis de Grado					
Etapas	Tarea	Insumo	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Etapa 1					B/. 135.00
	<i>Selección del tema</i>				
		Mensualidad Internet	3	B/. 20.00	B/. 60.00
		Transporte Mensual	3	B/. 25.00	B/. 75.00
	<i>Planteamiento del problema.</i>				
	<i>Antecedentes</i>				
	<i>Hipótesis</i>				
	<i>Objetivos.</i>				
	<i>Cronograma de actividades</i>				
	<i>Literatura consultada.</i>				
	<i>Financiamiento.</i>				
	<i>Presupuesto.</i>				
	<i>Cronograma de gastos</i>				
	<i>Presentación del informe.</i>				
Etapa 2					B/. 90.00
	<i>Recolección de la información.</i>				
		Mensualidad de Internet	2	B/. 20.00	B/. 40.00
		Mensualidad Transporte	2	B/. 25.00	B/. 50.00
	<i>Preparación de datos.</i>				
	<i>Procesamiento de datos.</i>				

	<i>Análisis de resultados.</i>				
Etapa 3					B/. 165.00
	<i>Descripción de los resultados.</i>				
		Mensualidad Internet	2	B/. 20.00	B/. 40.00
		Mensualidad Transporte	2	B/. 25.00	B/. 50.00
	<i>Organización y redacción del informe.</i>				
		Impresión de Documentación General	15	B/. 1.00 / Página	B/. 15.00
		Impresión de Documentos Preliminares	2	B/. 15.00	B/. 30.00
		Impresión de Documento Final	1	B/. 30.00	B/. 30.00
	<i>Presentación del informe, para su posterior corrección</i>			B/. 15.00	B/. 15.00
	<i>Presentación del informe final.</i>				
				Costo Total	B/. 405.00

Tabla 6. Pronóstico del número de contenedores importados, registrados en la AMP, para los meses de enero-octubre 2021. Modelo ARIMA (0,1,1).

Pronóstico del Número de contenedores importados, registrados en la AMP: año 2021. Modelo ARIMA (0,1,1).				
Año	Meses	Pronóstico	Lim. inferior	Lim. superior
2021	enero	180999.1	158432.6	205068
	febrero	180999.1	156007.4	207847
	marzo	180999.1	153820.6	210388
	abril	180999.1	151816.7	212745
	mayo	180999.1	149958.8	214957
	junio	180999.1	148221	217049
	julio	180999.1	146584.3	219040
	agosto	180999.1	145034.1	220944
	septiembre	180999.1	143559.2	222773
	octubre	180999.1	142150.5	224535

Fuente: Elaborado por el autor en base a los datos proporcionados por la AMP.
Software: Microsoft Excel.

Glosario

Transtainer: es un equipo desarrollado para el manejo de contenedores.

Stradelcarrier: es un equipo desarrollado para el manejo de contenedores y cargas pesadas.

Estibador: persona que tiene por oficio cargar y descargar las mercancías de las embarcaciones y se ocupa de la necesaria distribución de los pesos.

Atraque: acercamiento y amarre de una embarcación a otra, a la costa o a un muelle.

Desatraque: separar una embarcación de otra o de la parte que se atracó.

Planners: son los empleados de la terminal que se dedican a planificar las secuencias de carga y descarga teniendo en cuenta el peso y el destino del contenedor, entre otros factores.

Twistlocks: es una cantonera, empotrada en la esquina de un contenedor marítimo.

Spreader: es el instrumento que permite izar el contenedor en el aire y su elevación.

Cabrestante: torno de eje vertical para mover y arrastrar grandes pesos, usado especialmente en minas, puertos y barcos.

Trincado: embarcación pequeña con el palo caído hacia popa y la vela en forma de trapecio irregular.

Bay: son secciones transversales en las cuales ocupa un contenedor y se numeran de forma ascendente de proa a popa.

Row: corresponde al corte longitudinal del buque.

Tier: corresponde a la altura a la que le corresponde el contenedor.

Babor: costado izquierdo de una embarcación, mirando desde la parte trasera, o popa, hacia la delantera, o proa.

TCP: son las siglas de terminal de contenedores portuaria.

TEU: medida que equivale a un contenedor de 20 pies.

Serie temporal: es una sucesión de datos medidos en determinados momentos y ordenados cronológicamente y pueden estar espaciados a intervalos iguales o desiguales.

Datos atípicos: es la observación de valores extremadamente grandes o pequeños y pueden tener un efecto desproporcionado en los resultados estadísticos con respecto a la media.

Homocedasticidad: término que indica variabilidad uniforme de los residuos alrededor de la línea de regresión para todos los valores x .

Normalidad: representa la forma en la que se distribuyen en la naturaleza los diversos valores numéricos de las variables continuas.

Predicción: se refiere a la estimación de series temporales o datos instantáneos.