

12

EPISTEME & PRAXIS | Revista Científica Multidisciplinaria | 2960-8341

PREDICCIÓN

LOGÍSTICA PORTUARIA CON MODELACIÓN ARMA: EVIDENCIA DEL FLUJO DE CONTENEDORES EN EL SUR DEL ECUADOR

PORT LOGISTICS PREDICTION WITH ARMA MODELING: EVIDENCE OF CONTAINER FLOW IN SOUTHERN ECUADOR

Luis Cedillo-Chalaco¹

E-mail: icedillo@umet.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3142-4485>

Priscilla Hernández-Díaz²

E-mail: priscillahernandez1993@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-5200-8593>

¹ Universidad Metropolitana. Ecuador.

² Yilport Terminal Operations S.A. Ecuador.

[Cita sugerida \(APA, séptima edición\)](#)

Cedillo-Chalaco, L., & Hernández-Díaz, P. (2025). Predicción logística portuaria con modelación ARMA: evidencia del flujo de contenedores en el sur del Ecuador. *Revista Episteme & Praxis*, 3(3), 126-135.

Presentación: 21/05/2025

Aceptación: 13/07/2025

Publicación: 01/09/2025



© 2025; Los autores. Este es un artículo en acceso abierto, distribuido bajo los términos de una licencia Creative Commons que permite el uso, distribución y reproducción en cualquier medio siempre que la obra original sea correctamente citada.

RESUMEN

La creciente complejidad operativa de los puertos y la volatilidad del tráfico de contenedores han expuesto limitaciones estructurales en los procesos de planificación logística, particularmente en América Latina. En este contexto, la presente investigación propone la aplicación de un modelo ARMA para anticipar el flujo semanal de contenedores de importación en un puerto del sur del Ecuador, con el propósito de fortalecer la capacidad de respuesta operativa mediante estimaciones empíricamente validadas. El estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de diseño no experimental y corte transversal. Se utilizaron datos administrativos diarios de atención portuaria entre enero de 2022 y mayo de 2025, los cuales fueron transformados a frecuencia semanal para atenuar la variabilidad y capturar patrones logísticos más estables. La serie resultante, compuesta por 174 observaciones, fue sometida a pruebas de estacionariedad, y posteriormente modelada bajo un esquema ARMA (2,3), seleccionado con base en el análisis de los correlograma. Los resultados evidencian una alta dispersión en la carga semanal, con una media de 63,38 contenedores y marcadas asimetrías. El modelo estimado presentó coeficientes significativos, residuos estacionarios, homocedásticos y sin autocorrelación, además de una estructura robusta sin observaciones influyentes. La comparación in-sample mostró una adecuada aproximación entre los valores observados y estimados, validando al ARMA (2,3) como una herramienta útil para la planificación logística portuaria en contextos de alta variabilidad.

Palabras clave:

Planificación logística, flujo de contenedores, modelo ARMA, series temporales, operaciones portuarias.

ABSTRACT

The increasing operational complexity of ports and the volatility of container traffic have revealed structural limitations in logistics planning processes, particularly in Latin America. In this context, the present study proposes the application of an ARMA model to anticipate the weekly flow of import containers at a port in southern Ecuador, with the objective of strengthening operational response capacity through empirically validated estimates. The research followed a quantitative approach, with a non-experimental, cross-sectional design. Daily administrative records of port operations from January 2022 to May 2025 were used and aggregated into weekly frequency to reduce variability and capture more stable logistics patterns. The resulting weekly series, consisting of 174 observations, was subjected to stationarity tests and subsequently modeled under an ARMA (2,3) scheme, selected based on correlogram analysis and information criteria. The results indicate high dispersion in weekly container volumes, with a mean of 63.38 containers and notable asymmetries. The estimated model yielded statistically significant coefficients, with stationary, homoskedastic, and non-autocorrelated residuals, as well as a robust structure free from influential observations. The in-sample comparison revealed a strong alignment between observed and predicted values, validating the ARMA (2,3) model as a useful tool for port logistics planning in highly variable operational contexts.

Keywords:

Logistics planning, container flow, ARMA model, time series, port operations.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento sostenido del comercio internacional ha consolidado a los puertos como nodos estratégicos en la cadena de suministro global, incrementando las exigencias sobre su capacidad de respuesta. Feo et al. (2024), destacan que la eficiencia en la gestión portuaria es clave para la competitividad logística de los países. En un entorno de creciente interdependencia comercial, la rapidez en el procesamiento de contenedores influye directamente en los costos operativos y en la confiabilidad de las cadenas de suministro (Apolinario et al., 2025). Particularmente, las operaciones asociadas a la atención de carga de importación definen la eficacia de la infraestructura. Habte (2022), advierte que las deficiencias en estas fases elevan los costos logísticos y comprometen la eficiencia del puerto limitando la capacidad de respuesta ante variaciones abruptas de demanda (Yin et al., 2024).

Ahmad et al. (2021); y Apolinario et al. (2025), coinciden en señalar una serie de obstáculos persistentes que limitan el crecimiento sostenido del tráfico de contenedores en terminales portuarios. Entre los principales retos destacan la congestión en patios, el uso ineficiente de equipos y la débil articulación entre los distintos actores logísticos. Estos factores, sumados a la limitada capacidad de respuesta de ciertos puertos ante variaciones operativas, ponen en evidencia la necesidad urgente de incorporar herramientas analíticas que permitan anticipar la demanda operativa y optimizar la planificación logística.

En este marco, uno de los puntos más críticos es la evacuación de contenedores, influida no solo por factores internos, sino también por condiciones externas como la disponibilidad de transporte, la infraestructura vial o la coordinación con los consignatarios. Neagoe et al. (2021), sostienen que la permanencia prolongada de las unidades en puerto refleja ineficiencias estructurales que deben gestionarse con instrumentos analíticos adecuados.

En América Latina, esta problemática se agrava ante la carencia de modelos formales de predicción. Muchos puertos todavía operan con criterios empíricos y reactivos, lo que dificulta prever variaciones significativas en el volumen de carga y, en consecuencia, impide una planificación eficiente. Esta situación genera demoras, congestión vial y sobrecostos logísticos para los usuarios (Yen y Mulley, 2023).

La literatura técnica ha propuesto con insistencia el uso de modelos de series temporales como una solución viable para mejorar la programación de recursos en entornos portuarios. Moya y Valerio (2018) afirman que estas herramientas permiten detectar patrones cíclicos y anomalías en la dinámica operativa. En regiones donde se ha iniciado la digitalización de registros logísticos, como en varios puertos del sur de Ecuador, este tipo de modelación representa un avance relevante hacia procesos

basados en evidencia (Ahmad et al., 2021; Vadahni et al., 2024).

En dicho contexto, algunos terminales portuarios del litoral ecuatoriano experimentan una alta oscilación semanal en la llegada de contenedores. Esta variabilidad demanda esquemas de planificación ágiles y técnicamente sustentados. Tang et al. (2022), argumentan que esta inestabilidad genera presión sobre los recursos operativos y compromete el cumplimiento de normativas logísticas. A su vez, Karimi et al. (2025), consideran que la falta de previsión conlleva asignaciones ineficientes, desequilibrios operativos y dificultades en la respuesta ante picos de demanda.

La toma de decisiones en estos entornos aún descansa, en muchos casos, sobre la experiencia directa de los operadores, más que en el uso de modelos formales. Esta dependencia de la intuición limita la capacidad de adaptación frente a escenarios volátiles y reduce la eficiencia operativa. Además, impide alinear la planificación portuaria con los ciclos logísticos del transporte terrestre, repercutiendo en la fluidez general de la cadena de suministro (Kumari et al., 2024).

Ante ello, los modelos autorregresivos de medias móviles (ARMA) ofrecen una solución estadística confiable para analizar series univariadas con autocorrelación. Su aplicación ha demostrado ser efectiva en contextos portuarios internacionales para proyectar cargas semanales, planificar personal, asignar espacio en patios y programar turnos operativos. Al capturar tanto la estructura temporal como las perturbaciones aleatorias del sistema, permiten generar pronósticos de corto plazo útiles para la toma de decisiones logística.

En América Latina, sin embargo, la adopción de modelos de este tipo aún es incipiente. Aunque estudios en Brasil, México o Chile han empezado a incorporar herramientas estocásticas en terminales marítimos, su implementación sistemática en procesos de gestión predictiva sigue siendo limitada. Según Özispa et al. (2024), los modelos ARMA representan una alternativa metodológica de bajo costo y alta replicabilidad para mejorar la eficiencia portuaria en la región. En el ámbito ecuatoriano, la producción académica ha estado centrada en aspectos normativos o tarifarios, dejando de lado el análisis cuantitativo de los flujos portuarios. Esta omisión ha restringido el desarrollo de herramientas de pronóstico aplicadas a la logística de importación, lo que limita la capacidad operativa y genera dependencia de decisiones no sistematizadas (Zeng et al., 2022).

Desde esta perspectiva, la presente investigación reviste especial importancia, al proponer la aplicación de un modelo ARMA (Autorregresivo de medias móviles) para anticipar el flujo semanal de contenedores de importación en un puerto del sur del Ecuador. Esta aproximación busca

fortalecer la planificación portuaria mediante pronósticos validados empíricamente, optimizar el uso de recursos, mejorar la respuesta operativa y avanzar hacia una gestión logística sustentada en datos. Por tanto, el objetivo de este manuscrito es analizar el comportamiento temporal de los contenedores de importación atendidos semanalmente mediante un modelo ARMA, para la generación de estimaciones confiables que sirvan como base técnica para la planificación logística y operativa de los terminales marítimos del sur del Ecuador.

Este artículo tributa al proyecto de investigación: "Determinantes económicos para el mejoramiento competitivo de la cadena logística de los operadores de comercio exterior en la Zona 7 del Ecuador", desarrollado por la carrera de Logística y Transporte de la Universidad Metropolitana - Sede Machala.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el pleno cumplimiento del objetivo planteado, la presente investigación se enmarcó en un enfoque cuantitativo, con un alcance descriptivo y exploratorio (Bazán et al., 2022; Cedillo-Chalaco et al., 2025) dado que, estuvo orientado a identificar patrones temporales en el flujo semanal de contenedores de importación en un puerto del sur del Ecuador. Este enfoque permitió analizar sistemáticamente el comportamiento de la serie sin establecer relaciones causales, centrándose en la caracterización estadística y en la estimación de un modelo predictivo de corto plazo. El diseño de investigación fue no experimental y de corte transversal, ya que se trabajó con datos históricos sin manipulación de variables, en un único periodo de observación delimitado temporalmente.

La fuente de información consistió en registros administrativos portuarios que detallan la atención diaria de contenedores de importación, correspondientes al periodo comprendido entre el 1 de enero de 2022 y el 31 de mayo de 2025. Este conjunto de datos, compuesto por más de 12.000 observaciones individuales correspondientes a 454 arribos registrados. La distribución de la carga mostró una fuerte concentración en contenedores de 40 pies, que constituyeron más del 97 % del total, siendo los de 20 pies significativamente menores en proporción.

Dado que la serie original se encontraba en frecuencia diaria y evidenciaba una alta variabilidad asociada a la irregularidad operativa, se optó por una transformación temporal mediante agregación a semanas calendario. Esta decisión metodológica permitió reducir el ruido estadístico, estabilizar la varianza y revelar patrones más consistentes con los ciclos logísticos reales del puerto (Yu et al., 2021). La nueva serie semanal, compuesta por 174 observaciones, constituyó una base empírica adecuada para la aplicación de modelos de series temporales. Este comportamiento agregado refleja una dinámica operativa

portuaria regida por estructuras temporales relativamente estables, lo que respalda el uso de la frecuencia semanal como horizonte analítico principal (Yang et al., 2021).

Una vez validada la estacionariedad, se procedió a la estimación de un modelo autorregresivo de medias móviles. El orden del modelo, ARMA (2,3), fue determinado con base en el análisis del correlograma (ACF y PACF), así como en la comparación de los criterios de información de Akaike (AIC) y Bayesiano (BIC). La elección del orden respondió al principio de parsimonia, privilegiando un modelo que capturara la estructura temporal con la menor complejidad posible (Bayer et al., 2023).

El modelo estimado tomó la forma general:

$$Y_t = \mu + \sum_{i=1}^2 \phi_i Y_{t-i} + \sum_{j=1}^3 \theta_j \varepsilon_{t-j} + \varepsilon_t$$

Donde Y_t representa la cantidad semanal de contenedores, μ son los coeficientes autorregresivos (AR), θ_j los coeficientes de medias móviles (MA), ε_t es la constante del modelo, y ε_t es el término de error blanco. El orden (2,3) se determinó mediante el análisis del correlograma, la comparación de los criterios de información Akaike (AIC) y Bayesiano (BIC), así como el principio de parsimonia estructural.

La validación del modelo ARMA se sustentó en una serie de pruebas estadísticas aplicadas a los residuos, con el fin de verificar el cumplimiento de los supuestos fundamentales requeridos por este tipo de modelación; tales como: autocorrelación serial mediante la prueba de Ljung-Box (Lee, 2022); homocedasticidad a través de la prueba de Breusch-Pagan, a los residuos (Huseynli, 2022); Distancia de Cook para identificar posibles observaciones influyentes (Cook, 2025); y la estacionariedad de los residuos post-estimación a través de la prueba Dickey Fuller (Paparoditis & Politis, 2018). Todo el procesamiento estadístico fue realizado en el entorno Stata 17.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La serie semanal consolidada, construida a partir de registros diarios del arribo de contenedores de importación entre enero de 2022 y mayo de 2025, evidencia un comportamiento marcadamente irregular. El volumen promedio semanal se situó en 63,38 unidades, acompañado de una desviación estándar de 56,35 contenedores, lo que revela una alta dispersión en la carga atendida. Esta variabilidad refleja la coexistencia de semanas con actividad mínima y otras con exigencias operativas considerables. La amplitud del rango observado, que va desde un mínimo de 1 hasta un máximo de 297 contenedores, refuerza la necesidad de contar con modelos analíticos capaces de capturar tanto los patrones de fondo como las fluctuaciones extremas.

Adicionalmente, desde una perspectiva distributiva, los percentiles de la serie reflejan una estructura concentrada hacia los valores inferiores. El 25 % de las semanas registró menos de 17 contenedores, la mediana se ubicó en 50,5 unidades (percentil 50), y el percentil 75 alcanzó los 91 contenedores. Esta situación indica una asimetría positiva significativa en la distribución, donde se aprecia una acumulación significativa de observaciones en los tramos bajos y una cola derecha extendida (Figura 1). Este patrón sugiere que, aunque la mayoría de las semanas presentan volúmenes moderados o bajos, existen episodios de alta carga cuya recurrencia e intensidad tienen efectos estructurales sobre la dinámica logística, llegando inclusive a afectar la planificación semana (Tabla 1).

Tabla 1. Estadísticos descriptivos de la atención de containers semanales en el puerto del sur del Ecuador.

Variable	N	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	P25	P50	P75
Containers	174	63,38	56,35	1	297	17	50,5	91

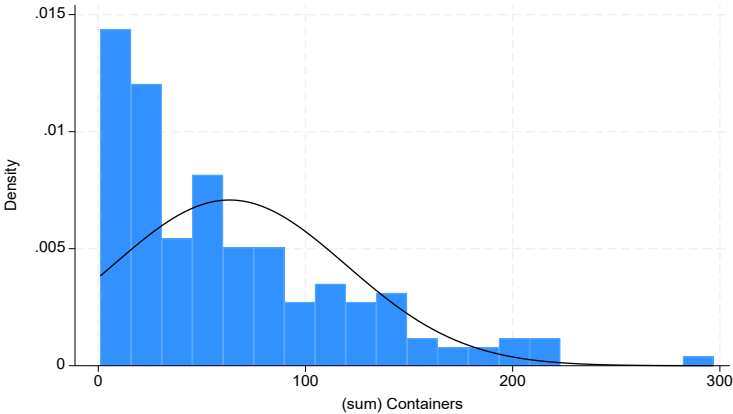


Figura 1. Histograma de densidad de la distribución de los containers.

Por su parte, la evolución semanal respalda la lectura estadística anterior, mostrando variaciones abruptas intersemanales y ciclos operativos irregulares. Aunque no se observa una estacionalidad clara, sí se identifican repuntes periódicos vinculados a calendarios comerciales o ventanas de arribo específicas (Figura 2). Esta dinámica operativa compleja refuerza la necesidad de incorporar técnicas de series temporales que integren mecanismos de memoria y amortiguamiento estadístico, como los modelos ARMA, capaces de generar pronósticos confiables para la planificación logística del puerto en el corto plazo (Alkheder et al., 2022).

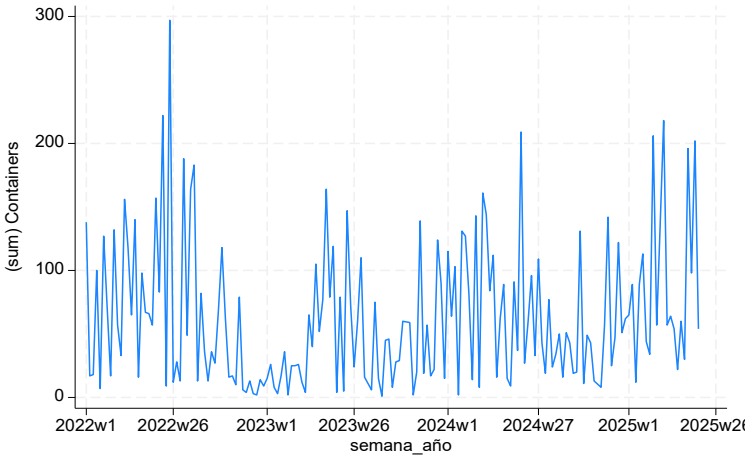


Figura 2. Gráfico lineal de los containers recibidos semanalmente.

Previo a la estimación, se aplicó la prueba de Dickey-Fuller sobre la serie semanal transformada. El estadístico obtenido ($Z(t) = -13,487$; $p < 0,01$) permitió rechazar con holgura la hipótesis nula de raíz unitaria, confirmando así la estacionariedad en nivel. Este resultado valida el uso de modelos ARMA sin necesidad de diferenciación adicional y respalda

la decisión metodológica de operar con datos agregados semanalmente. La transformación, además de estabilizar la varianza, reveló una estructura temporal más definida, lo que reduce el riesgo de errores de especificación y mejora la capacidad predictiva del modelo (tabla 2).

Tabla 2. Prueba Dickey Fuller a la serie Containers señala.

	Prueba estadística	Valores críticos-		
		1%	5%	10%
Z(t)	-13,48	-3,49	-2,89	-2,58

Durante el proceso de especificación, se evaluaron múltiples combinaciones de modelos ARMA, considerando órdenes entre 2 y 4 para el componente autorregresivo (AR), y entre 2 y 3 para el componente de media móvil (MA), en función de los patrones observados en las funciones ACF y PACF (Figura 3). La selección final del modelo ARMA (2,3) respondió tanto a la interpretación visual de estas funciones como al desempeño comparado en términos del comportamiento de los residuos. Este enfoque permitió asegurar un equilibrio entre parsimonia y capacidad explicativa, optimizando la representación estadística del comportamiento semanal del flujo de contenedores.

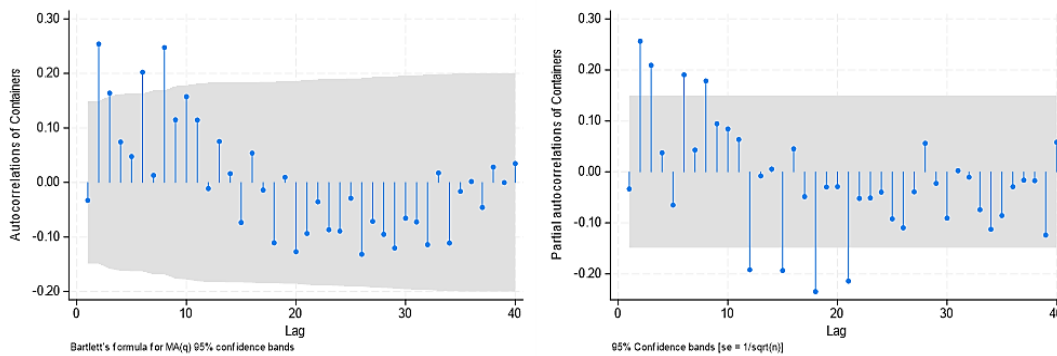


Figura 3. Autocorrelación y autocorrelación parcial de la serie atención de containers de importación semanal.

Una vez estimado el modelo ARMA (2,3), se procedió a examinar la significancia estadística y el sentido estructural de los coeficientes obtenidos. El parámetro correspondiente al segundo rezago autorregresivo (AR2) resultó positivo y altamente significativo ($p < 0,01$), lo que evidencia una dependencia temporal de segundo orden en la serie. En términos concretos, un aumento de una unidad en *Containers* dos semanas atrás se asocia con un incremento de 0,2858 unidades en el valor actual, *ceteris paribus*. Por su parte, el coeficiente estimado para el tercer rezago del componente de media móvil (MA3) fue también positivo y significativo al 5% ($p = 0,015$), indicando que los choques aleatorios ocurridos tres semanas antes continúan afectando el valor presente. Específicamente, un shock o error positivo de una unidad hace tres periodos incrementa el valor actual de *Containers* en 0,1631 unidades, revelando la existencia de memoria en la estructura de los errores.

Asimismo, el término constante fue estimado en 63,74 unidades, con alta significancia estadística, y representa el valor promedio esperado del flujo semanal de contenedores una vez descontados los efectos dinámicos y estocásticos. En cuanto al ajuste del modelo, la desviación estándar del término de error ($\sigma = 53,36$) constituye una medida del error típico en las predicciones. Este valor resulta cercano a la desviación estándar de la serie original (56,35), lo que sugiere que el modelo logra capturar parte relevante, aunque no predominante, de la variabilidad observada. Tal proporción de error no explicado es coherente con la naturaleza estocástica del fenómeno modelado, en el cual intervienen factores externos y aleatorios no observables que condicionan el comportamiento del flujo de contenedores.

Finalmente, el valor obtenido para el estadístico de Wald ($\chi^2 = 24,89$; $p < 0,001$) confirma que los coeficientes del modelo, considerados conjuntamente, son significativamente distintos de cero. Esta evidencia respalda estadísticamente la validez global del modelo estimado y complementa el análisis individual de los parámetros, reafirmando que tanto la estructura autoregresiva como los efectos de los errores pasados contribuyen de manera sustantiva a explicar la dinámica del flujo de contenedores. En conjunto, los resultados empíricos se alinean con la especificación derivada del análisis visual de las funciones de autocorrelación y autocorrelación parcial (Figura 3), consolidando la pertinencia del modelo ARMA (2,3) como una representación estadística consistente del comportamiento observado (Tabla 3).

Tabla 3. Estimación del modelo ARMA (2,3) para el flujo semanal de contenedores.

Containers		Coefficiente	Error estándar	z	P> z	Observaciones: 174 Wald chi2(2): 24,89 Prob > chi2: 0,000
	Constante	63,74	8,44	7,55	0,000	
ARMA	ar L2.	0,2858	0,06	4,74	0,000	
	ma L3.	0,1631	0,07	2,44	0,015	
	/sigma	53,36	3,22	16,58	0,000	

El diagnóstico sobre los residuos del modelo ARMA (2,3) respalda la validez estadística de la especificación planteada. En primer lugar, la prueba de Dickey-Fuller arroja un p-valor de 0,000, lo que permite rechazar con alto nivel de confianza la hipótesis nula de raíz unitaria, confirmando que los residuos son estacionarios. Asimismo, la prueba de Breusch-Pagan presenta un p-valor de 0,4197, lo que indica que no existe evidencia estadística suficiente para rechazar la homocedasticidad, es decir, la varianza de los errores se mantiene constante a lo largo del tiempo.

Adicionalmente, la prueba de Portmanteau aplicada sobre los residuos genera un p-valor de 0,2685, sugiriendo que no se detecta autocorrelación significativa en los mismos, lo cual es consistente con la hipótesis de ruido blanco. En conjunto, estos resultados avalan que los residuos del modelo cumplen con los supuestos fundamentales requeridos para un modelo ARMA bien especificado (Tabla 4).

Tabla 4. Evaluación de estacionariedad, homocedasticidad y ruido blanco en los residuos.

Estacionariedad residuos	Dickey Fuller Z(t)	0,000
Homocedasticidad	Breusch Pagan Prob > chi2	0,4197
Ruido blanco	Portmanteau Prob > chi2	0,2685

Como complemento al análisis de residuos, se examinó la influencia individual de las observaciones sobre los parámetros estimados mediante la distancia de Cook. Esta medida permite identificar posibles puntos influyentes cuya presencia podría distorsionar la estabilidad del modelo.

Tal como se muestra en la Figura 4, la gran mayoría de las observaciones presentan valores de Cook's D considerablemente bajos, próximos a cero, lo que indica una influencia marginal en el ajuste global del modelo ARMA (2,3). Solo se detectan algunos valores atípicamente elevados durante el segundo trimestre de 2022; sin embargo, ninguno supera los umbrales convencionales de preocupación (por ejemplo, $4/n \approx 0,023$ para $n = 174$). Esto indica que, las estimaciones obtenidas no están condicionadas por observaciones individualmente dominantes, lo cual refuerza la robustez del modelo en términos de estabilidad paramétrica y solidez estadística, que permitirá mejorar la planificación operativa (Xu et al., 2023), para evitar cuellos de botella y congestión en instalaciones del puerto (Moscoso et al., 2021).

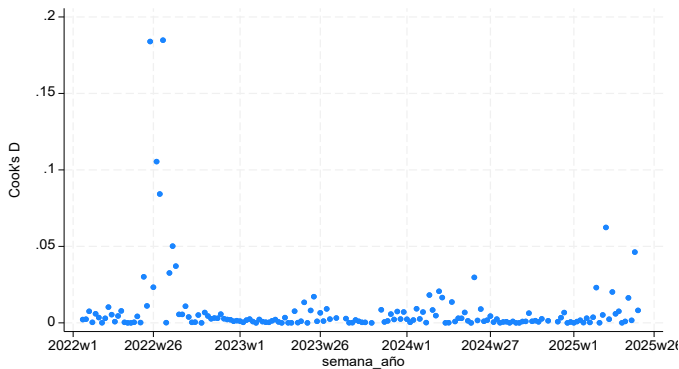


Figura 4. Análisis de influencia mediante la distancia de Cook para el modelo ARMA (2,3).

Una vez verificados los supuestos fundamentales del modelo mediante pruebas de estacionariedad, homocedasticidad y ausencia de autocorrelación en los residuos, así como confirmada la inexistencia de observaciones influyentes que comprometan la estabilidad de las estimaciones, se procedió a evaluar visualmente la capacidad explicativa del modelo ARMA (2,3).

La Figura 5 presenta la comparación entre la serie original de flujo semanal de contenedores y los valores ajustados obtenidos mediante predicción *one-step-ahead*. Se observa que, si bien el modelo suaviza las oscilaciones propias de la serie original (caracterizada por episodios de alta variabilidad y picos irregulares), logra captar adecuadamente las tendencias generales y la dinámica subyacente (Moon et al., 2021). Esta concordancia entre las trayectorias observada y estimada refuerza la validez del modelo desde una perspectiva empírica, consolidando al ARMA (2,3) como una representación estadística consistente y robusta del comportamiento semanal de los flujos de contenedores en el periodo analizado (Kenyon et al., 2018).

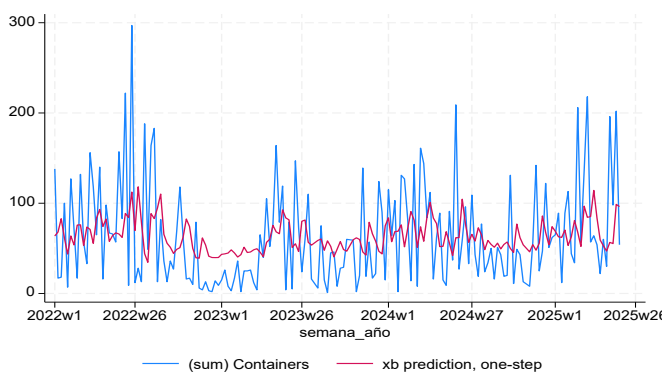


Figura 5. Comparación entre la serie observada y la estimación one-step del modelo ARMA (2,3).

CONCLUSIONES

La integración de modelos ARMA en el contexto portuario representa una respuesta técnica y replicable frente a las

limitaciones operativas que enfrentan los terminales marítimos en entornos de alta variabilidad. El modelo ARMA (2,3) propuesto no solo se ajusta adecuadamente a la serie observada, sino que también captura las inercias y perturbaciones propias del sistema logístico-portuario, superando el enfoque empírico tradicional centrado en la experiencia operativa.

La transformación de la serie diaria a una frecuencia semanal permitió revelar estructuras temporales más estables y coherentes con los ciclos reales de planificación. Esta decisión metodológica fue clave para garantizar la estacionariedad del modelo y demuestra que el tratamiento de la frecuencia temporal no es un mero aspecto técnico, sino una etapa sustantiva del diseño econométrico en estudios aplicados.

La validación exhaustiva de los residuos confirma que el modelo cumple con los supuestos fundamentales del enfoque ARMA. La ausencia de autocorrelación residual, la estacionariedad de los errores y la inexistencia de observaciones influyentes con alta distorsión consolidan la confiabilidad del modelo como herramienta predictiva de corto plazo, especialmente útil en contextos donde la planificación anticipada puede traducirse en eficiencias operativas tangibles.

Desde una perspectiva teórico-aplicada, este estudio demuestra que los enfoques estocásticos de series temporales, cuando se implementan con rigor metodológico y adaptación contextual, pueden aportar soluciones concretas a desafíos logísticos complejos. La modelación del flujo de contenedores con un ARMA (2,3) trasciende el ejercicio estadístico y se posiciona como una estrategia analítica que habilita una gestión portuaria basada en datos, capaz de anticipar la demanda y optimizar la toma de decisiones en escenarios de alta incertidumbre.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmad, R. W., Hasan, H., Jayaraman, R., Salah, K., & Omar, M. (2021). Blockchain applications and architectures for port operations and logistics management. *Research in Transportation Business & Management*, 41. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2021.100620>
- Alkheder, S., Naif, D., Musaed, D., Al Shrekah, S., Al Rshaid, M., Al. Anzi, N., & Baqer, I. (2022). Maritime transport management in Kuwait toward an automated port logistical city. *Cleaner Logistics and Supply Chain*, 3(100031). <https://doi.org/10.1016/j.clscn.2022.100031>
- Apolinario, R., Rodríguez, M., Segarra, H., & Caicedo, M. (2025). *La gestión de la logística y el transporte internacional en el Ecuador: estrategias, retos y oportunidades en un mundo globalizado*. Liveworkingeditorial.

- Bayer, F., Pumi, G., Liberal, T., & Souza, T. (2023). Inflated beta autoregressive moving average models. *Computational and Applied Mathematics*, 42(183), 1-24. <https://doi.org/10.1007/s40314-023-02322-w>
- Bazán, C., Morales, Y., González, C., & Álvarez, V. (2022). La función de producción Cobb-Douglas: Caso del sector C23 de fabricación de productos minerales no metálicos. *Observatorio Empresarial*, 2(3), 79-107. <https://doi.org/10.56216/radee012022jun.a06>
- Cedillo-Chalaco, L., López-Vera, J., Jumbo, K., & Tabares, C. (2025). Relación entre inversión logística y comercio en Ecuador: un análisis econométrico de cointegración. *INNOVA Research Journal*, 10(2), 67-80. <https://doi.org/10.33890/innova.v10.n2.2025.2757>
- Cook, D. (2025). Cook's Distance. En, M. Lovric, *International Encyclopedia of Statistical Science*. (pp. 538-540). Springer.
- Feo, M., Botella, A., Martínez, J., Pallardó, V., Requena, F., & Sala, R. (2024). Exploring supply chain and regional resilience through the analysis of the transport dimension. *Case Studies on Transport Policy*, 16. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2024.101216>
- Habte, Z. (2022). The role of logistics performance in international trade: a developing country perspective. *World Review of Intermodal Transportation Research*, 11(1), 53-69. <https://doi.org/10.1504/WRITR.2022.123100>
- Huseynli, N. (2022). Effect of Renewable Energy and Traditional Energy Production on Economic Growth: The Case of Turkey and Azerbaijan. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 12(3), 267-261. <https://doi.org/10.32479/ijeep.12943>
- Karimi, N., Javanmardi, E., Nadaffard, A., & Facchini, F. (Abril de 2025). Systematic analysis and optimization of operational delay factors in port supply chains using a hybrid DEMATEL-OPA-DGRA approach. 263(107620), 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2025.107620>
- Kenyon, G., Goldsmith, M., Neureuther, B., & Zhou, D. (2018). Improving the return on investment in ports: opportunities in data management. *Maritime Economics & Logistics*, 20, 514-530. <https://link.springer.com/article/10.1057/s41278-017-0078-4>
- Kumari, R., Mani Tripathi, Y., Wang, L., & Kumar Sinha, R. (2024). Reliability estimation for Kumaraswamy distribution under block progressive type-II censoring. *A Journal of Theoretical and Applied Statistics*, 58, 142-175. <https://doi.org/10.1080/02331888.2024.2301736>
- Lee, T. (2022). Wild bootstrap Ljung-Box test for residuals of ARMA models robust to variance change. *Journal of the Korean Statistical Society*, 51, 1005-1020. <https://doi.org/10.1007/s42952-022-00172-6>
- Moon, J., Hossain, M. B., & Chon, K. H. (2021). AR and ARMA model order selection for time-series modeling with ImageNet classification. *Signal Processing*, 183(108026), 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.sigpro.2021.108026>
- Moscoso, J., Urda, D., Ruiz, J., González, E., & Turias, I. (10 de Septiembre de 2021). A machine learning-based forecasting system of perishable cargo flow in maritime transport. *Neurocomputing*, 452, 487-497. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2019.10.121>
- Neagoe, M., Hvolby, H., & Turner, P. (2021). Why are we still queuing? Exploring landside congestion factors in Australian bulk cargo port terminals. *Maritime Transport Research*, 2, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.martra.2021.100036>
- Özispá, N., Açık, A., & Baran, E. (2024). 2030 outlook for global cargo: ARIMA predictions for maritime trade. *RESP*, 3(2), 104-116. <https://respjournal.com/index.php/pub/article/view/48/31>
- Paparoditis, E., & Politis, D. (2018). The asymptotic size and power of the augmented Dickey-Fuller test for a unit root. *Econometric Reviews*, 37(9), 955-973. <https://doi.org/10.1080/00927872.2016.1178887>
- Tang, S., Jin, J. G., & Lu, C. (2022). Investigation of berth allocation problem in container ports considering the variety of disruption. *Computers & Industrial Engineering*, 172(108564). <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108564>
- Vadahni, B., Veysmoradi, D., Basir Abyaneh, M., & Ras-hedi, M. (2024). Robust integrated multi-mode scheduling of flexible loading and unloading operations with maintenance services in a port container terminal. *Ocean and Coastal Management*, 259(107481), 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2024.107481>
- Wang, P., Hu, Q., Xu, Y., Mei, Q., & Wang, F. (2021). Evaluation methods of port dominance: A critical review. *Ocean & Coastal Management*, 215(105954), 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105954>
- Xu, B., Liu, W., Li, J., Yang, Y., Wen, F., & Song, H. (2023). Resilience measurement and dynamic optimization of container logistics supply chain under adverse events. *Computers & Industrial Engineering*, 180(109202), 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109202>

- Yang, Z., Wan, C., Yang, Z., & Yu, Q. (2021). Using Bayesian network-based TOPSIS to aid dynamic port state control detention risk control decision. *Reliability Engineering & System Safety*, 213(107784). <https://doi.org/10.1016/j.ress.2021.107784>
- Yen, B. T., & Mulley, C. (2023). Introduction to the themed volume on transport efficiency. *Research in Transportation Business & Management*, 46, 1-4. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2023.100949>
- Yin, J., Khan, R. U., Wang, X., & Asad, M. (2024). A data-centered multi-factor seaport disruption risk assessment using Bayesian networks. *Ocean Engineering*, 308, 411-421. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.118338>
- Yu, M., Liang, Z., Teng, Y., Zhang, Z., & Cong, X. (2021). The inbound container space allocation in the automated container terminals. *Expert Systems with Applications*, 179(115014). <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.115014>
- Zeng, M., Liu, R., Gao, M., & Jiang, Y. (2022). Demand Forecasting for Rural E-Commerce Logistics: A Gray Prediction Model Based on Weakening Buffer Operator. *Journal of Advanced Transportation*, (3395757), 1-8. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1155/2022/3395757>