

Pronóstico de las exportaciones mineras: evidencia empírica del caso peruano a partir del análisis econométrico para el período 2012-2022

Minner Exportation Prognostic: Peruvian Case Empiric Evidence Through an Econometric Analysis for the Period 2012-2022

LUIGGY REYNALDO ESPINOZA ANGULO

Universidad de Guadalajara
México

luiggy.espinosa9400@alumnos.udgg.mx
<https://orcid.org/0000-0001-9347-2223>

<https://doi.org/10.52948/rcca.v6i2.1080>

Artículo de investigación

Recepción: 16 de marzo de 2024

Aceptación: 18 de octubre de 2024

Resumen

Este estudio se concentra en el sector minero peruano, reconocido como un pilar fundamental de la economía nacional. Su propósito central radica en la elaboración de un modelo autorregresivo integrado de media móvil (ARIMA, por sus siglas en inglés *autoregressive integrated moving average*) con el fin de predecir con precisión las exportaciones mineras. Este enfoque investigativo se sustenta en paradigmas económicos arraigados, al mismo tiempo que se basa en una sólida revisión de literatura que confirma su eficacia en la predicción de series temporales en diversos contextos económicos. Mediante el uso de datos mensuales provenientes del Banco Central de Reserva del Perú (BCRP, 2022) y la aplicación del marco metodológico de Box-Jenkins, se llevó a cabo un análisis riguroso para la identificación, estimación y validación del modelo ARIMA específico (5, 1, 0). La rigurosa validación del modelo destacó su notable capacidad predictiva en el contexto específico de las exportaciones mineras peruanas. Estos hallazgos no solo aportan una comprensión más profunda de la dinámica de dicho sector, sino que también respaldan la utilización del modelo

ARIMA como una herramienta fiable para la toma de decisiones políticas y comerciales en el ámbito minero, consolidando su relevancia en la gestión económica del país.

Palabras clave: sector minero; modelo ARIMA; exportaciones; predicción; economía peruana.

Abstract

This study focuses on the Peruvian mining sector, recognized as a fundamental pillar of the national economy. Its central purpose lies in the development of an autoregressive integrated moving average (ARIMA) model to accurately predict mining exports. This research approach is based on well-established economic paradigms, while at the same time it is based on a solid literature review that confirms its effectiveness in predicting time series in various economic contexts. Using monthly data from the Central Reserve Bank of Peru (BCRP, 2022) and applying the Box-Jenkins methodological framework, it conducted a rigorous analysis for the identification, estimation and validation of the specific ARIMA model (5, 1, 0). The rigorous validation of the model highlighted its remarkable predictive capacity in the specific context of Peruvian mining exports. These findings not only provide a deeper understanding of the dynamics of that sector but also support the use of the ARIMA model as a reliable tool for political and commercial decision making in the mining field, consolidating its relevance in the economic management of the country.

Keywords: mining sector; ARIMA model; exportation; prediction; economy of Peru.

Introducción

Al representar el 10% del Producto Bruto Interno (PBI), el 60% de las exportaciones y el 20% de la recaudación fiscal, el sector minero peruano desempeña un papel fundamental en la economía del país (Narrea, 2018). No obstante, se enfrenta a diversos desafíos, tales como la volatilidad de los precios internacionales, la conflictividad social, el impacto ambiental, la competencia extranjera y la incertidumbre política. En ese sentido, las exportaciones mineras, constituyendo más del 60% del total de exportaciones en términos de valor libre a bordo

(FOB, por sus siglas en inglés *Free On Board*), son cruciales para la economía peruana (BCRP, 2022; Oficina de Evaluación y Supervisión [OVE], 2016).

A nivel nacional la producción y exportación minera en el Perú ha experimentado un crecimiento significativo en las últimas décadas. Según el Ministerio de Energía y Minas (2021), la producción minera creció a una tasa promedio anual del 4.7% entre 2001 y 2019, impulsada principalmente por el aumento de la producción de cobre, hierro, zinc y molibdeno. Del mismo modo, las exportaciones mineras aumentaron a una tasa promedio anual del 6.8% en el mismo período, debido al incremento de los volúmenes y los precios de los metales. Sin embargo, el sector minero también enfrenta desafíos como la baja inversión, la conflictividad social, el impacto ambiental, la informalidad y la falta de innovación y diversificación.

En este contexto, resulta imperativo desarrollar un modelo ARIMA que permita prever con precisión la exportación minera en el Perú, tomando en cuenta los factores determinantes tanto internos como externos. Por ende, este artículo tiene como objetivo presentar un modelo de pronóstico de las exportaciones mineras en el Perú para el período 2012-2022, basado en técnicas econométricas y de series temporales. A través de este análisis se busca contribuir al entendimiento y gestión del sector minero, así como a la formulación de políticas públicas que fomenten su desarrollo sostenible.

Profundizando en la fundamentación teórica, la teoría de la ventaja comparativa (Ricardo, 2014) postula que los países se benefician al especializarse en la producción de bienes en los cuales tienen una ventaja relativa, incluso si son menos eficientes en la producción de todos los bienes. En el caso de las exportaciones mineras en el Perú esta teoría respalda la idea de que el país se especializa en la producción y exportación de recursos mineros, como el cobre, oro y zinc, debido a su abundancia de recursos naturales y capacidades técnicas en este sector. Por lo tanto, esta especialización basada en la ventaja comparativa proporciona un fundamento teórico para la aplicación de modelos ARIMA, permitiendo prever las tendencias futuras de exportación en este sector clave de la economía del país.

Asimismo, el modelo de Heckscher-Ohlin postula que los países exportarán bienes que utilizan intensivamente los factores de producción que poseen en abundancia (Roch, 1970). En el caso peruano esto se relaciona con la exportación de recursos mineros, ya que

el país posee una considerable dotación de recursos naturales, como minerales y metales. La aplicación del modelo ARIMA para pronosticar las exportaciones mineras en Perú encuentra respaldo en esta teoría, dado que el enfoque del modelo Heckscher-Ohlin enfatiza la relación entre las dotaciones de recursos y las exportaciones. Por consiguiente, el uso de ARIMA podría permitir capturar y prever las variaciones en la exportación minera, considerando la relación entre la abundancia de recursos y la producción destinada a la exportación en el país. En el ámbito internacional diversas investigaciones han explorado el modelado ARIMA para pronosticar niveles de exportación en diferentes sectores económicos. Estas investigaciones han demostrado la eficacia del método en la predicción de tendencias y variaciones en las exportaciones de varios países y productos, proporcionando *insights* valiosos para la formulación de políticas y estrategias comerciales.

Por consiguiente, se realizó un estudio con el objetivo de pronosticar el valor de las exportaciones de petróleo y gas en Indonesia utilizando el método ARIMA Box-Jenkins (Ahmar et al., 2022). Se emplearon datos brutos de enero de 2010 a marzo de 2022 obtenidos del sitio web de la Oficina Central de Estadísticas de Indonesia y su análisis incluyó pruebas de estacionariedad; construcción del modelo; estimación y prueba de significancia de los parámetros; así como diagnóstico residual del modelo. Los resultados muestran tres indicaciones de modelos generados, destacando ARIMA (0,1,1) como el mejor modelo con un valor del criterio de información de Akaike (AIC, por sus siglas en inglés *Akaike information criterion*) de 2047.65.

De la misma manera, se llevó a cabo un análisis para predecir las exportaciones de camarón de Ecuador para el año 2020 mediante el modelo ARIMA, utilizando datos históricos de la Cámara Nacional de Acuicultura (Herrera et al., 2021). Se aplicó un enfoque hipotético-deductivo, observando variables como libras exportadas, ingresos por libra y precio promedio por libra. Los resultados, basados en el modelo ARIMA (1,0,1), indican una tendencia creciente en las exportaciones de camarón, sin impacto significativo atribuible a la pandemia de covid-19.

Otro estudio sobre las exportaciones de café de Indonesia abordó la volatilidad de los datos financieros, especialmente el valor de las exportaciones, utilizando el modelo ARIMA (Erlina y Azhar, 2020). La investigación se centró en determinar el modelo más adecuado para prever la serie mensual de exportación de café desde enero de 2005 hasta abril de 2020.

El modelo ARIMA (1,3,1) fue seleccionado como el óptimo debido a su valor p muy significativo (menor que 0.0001), lo que indica su idoneidad para la predicción. Además, este modelo se utilizó para proyectar los datos mensuales de exportación de café para los próximos 12 meses, revelando una tendencia creciente en el valor de las exportaciones.

En cuanto al análisis de series temporales de las importaciones y exportaciones de Pakistán, se buscó establecer modelos ARIMA adecuados para pronosticar estas variables clave (Farooqi, 2014). Utilizando datos desde el año 1947 hasta el 2013, se aplicó la metodología ARIMA con referencia específica al enfoque de Box-Jenkins. Los resultados indicaron que los modelos ARIMA (2,2,2) y ARIMA (1,2,2) fueron apropiados para prever las importaciones y exportaciones anuales, respectivamente. Estos modelos no solo ofrecieron proyecciones precisas; también revelaron una tendencia creciente tanto en las importaciones como en las exportaciones durante el período estudiado.

De la misma forma, los estudios previos a nivel nacional sobre las exportaciones mineras en el Perú proporcionan una base sólida para comprender la dinámica y la importancia económica de este sector. En un estudio con enfoque longitudinal y no experimental se buscó establecer un modelo de pronóstico de exportación minera en el Perú para el período de enero de 2016 a diciembre de 2020, considerando el impacto de la pandemia covid-19 (Izquierdo et al., 2022). En ese sentido, se construyó un modelo ARIMA (1, 0, 0), que se ajustó adecuadamente a la exportación minera durante el período estudiado. Los resultados se respaldaron mediante pruebas de estacionariedad, normalidad y autocorrelación, validando la robustez del modelo propuesto.

Por otro lado, un estudio se centró en modelar, estimar y analizar las dinámicas de estas exportaciones desde 1985 hasta 2017 (Chafloque-Céspedes et al., 2018). Utilizando técnicas de predicción y suavizamiento, se aplicaron análisis estadísticos descriptivos y se compararon los métodos ARIMA y *Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average* (SARIMA) para pronosticar a corto plazo. Los resultados indicaron que el segundo modelo (0,1,1) (0,1,1)₁₂ fue óptimo para prever las exportaciones mineras, proporcionando información valiosa para la toma de decisiones tanto en el sector público como privado.

Dada la relevancia de la exportación minera para la economía peruana y los cambios económicos y financieros ocasionados a nivel mundial por la pandemia de covid-19 (Martínez et al., 2022), es imperativo analizar y evaluar las consecuencias resultantes de este

evento en las empresas de diferentes industrias. Sin embargo, la relativa escasez de estudios actualizados sobre este tema justifica la realización de esta investigación. El problema de la investigación se centra en cómo estimar y predecir la exportación minera en el Perú. Al proporcionar un instrumento de análisis y proyección este estudio puede ser utilizado por los agentes económicos, los tomadores de decisiones y los investigadores interesados en el sector minero, contribuyendo así al desarrollo y gestión eficiente de este importante sector económico.

En línea a lo explicado, el pronóstico de las exportaciones mineras en el Perú es crucial para comprender y gestionar eficazmente este importante sector económico. Mediante la aplicación de modelos econométricos y de series temporales, como ARIMA, se pueden prever las tendencias futuras de exportación. Esta investigación contribuye al conocimiento y la gestión del sector minero, así como a la formulación de políticas públicas orientadas a promover su desarrollo sostenible en el contexto global actual.

Metodología

El estudio en cuestión adoptó un enfoque no experimental, caracterizado por la ausencia de manipulación de variables, y se clasifica como longitudinal al examinar datos a lo largo del tiempo en intervalos especificados. La investigación se basa en el análisis de series de tiempo para evaluar la tendencia a largo plazo en las exportaciones mineras durante el periodo 2012-2022. Los datos mensuales provienen de la base de estadísticas económicas del BCRP y se presentan en valor FOB, expresados en millones de dólares americanos.

Para comprender mejor la dinámica de la serie temporal se realizó un análisis estadístico descriptivo y se generaron gráficos para visualizar el comportamiento de la serie en función del tiempo. Esto permitió verificar la estabilidad de la media y la varianza del proceso a lo largo del tiempo. El modelo ARIMA, conocido por su utilidad en la modelización y pronóstico de series temporales, se destaca por su enfoque integrado que combina componentes autorregresivos y de media móvil (Gujarati y Porter, 2010). Este modelo es particularmente valioso en el análisis de series temporales macroeconómicas, donde la identificación de tendencias y patrones es crucial para realizar predicciones confiables.

En términos académicos el modelo ARIMA se formula como $ARIMA(p, d, q)$, donde (p) representa el número de términos autorregresivos, (d) denota el grado de diferenciación necesario para estacionalizar la serie y (q) indica el número de términos de media móvil. La metodología ARIMA se fundamenta en la premisa de que las observaciones pasadas y los errores de predicción pueden proporcionar información valiosa para predecir valores futuros.

La metodología empleada para la modelización de la serie temporal se basa en el enfoque de Box-Jenkins, que consta de tres pasos principales: identificación y selección del modelo, estimación de los coeficientes del modelo elegido y validación del modelo mediante pronósticos. El proceso de identificación y selección del modelo implica determinar la estacionariedad, el orden de rezago, la integración y las medias móviles adecuadas para el ajuste del modelo. Esta etapa se basa en el análisis de las funciones de autocorrelación (ACF) y autocorrelación parcial (PACF).

Posteriormente, se estima el modelo seleccionado utilizando técnicas estadísticas apropiadas para encontrar los coeficientes que mejor se ajustan a los parámetros elegidos. Se utilizan AIC y el criterio bayesiano de Schwarz (BIC, por sus siglas en inglés *Bayesian Information Criterion*) para evaluar la idoneidad del modelo, así como otros indicadores postestimación. Finalmente, se valida el modelo obtenido mediante la comparación de los pronósticos generados con los datos reales. Se emplearon dos herramientas de análisis de datos, EViews 12 y R Studio 2023.06.1, para realizar el análisis exploratorio y la técnica de predicción, respectivamente.

Resultados

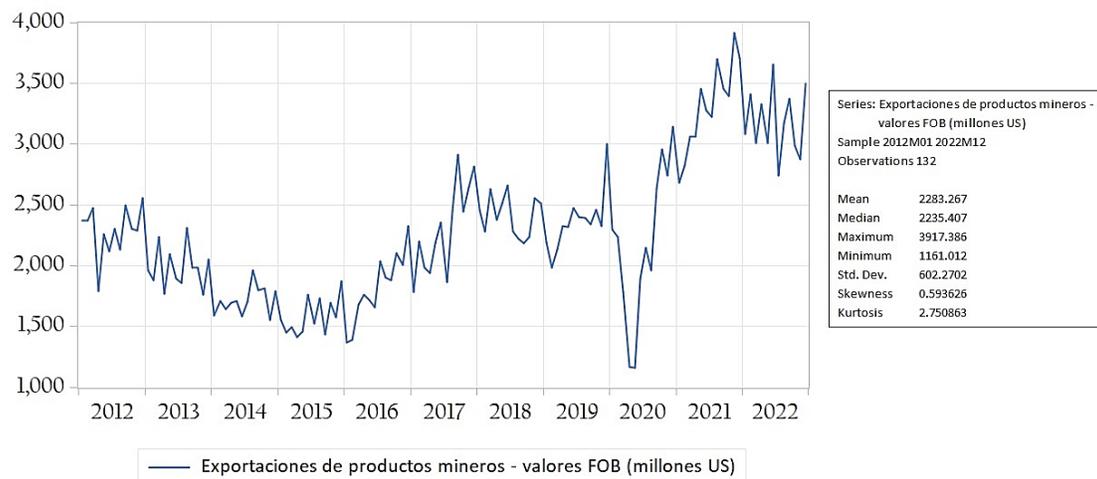
En el marco de la investigación se procede a la presentación de los resultados obtenidos respecto al análisis del valor FOB de las exportaciones mineras en el período comprendido entre 2012 y 2022, según los datos recopilados de la base de estadísticas económicas proporcionada por el BCRP. Los hallazgos revelan una marcada evolución en el valor FOB de dichas exportaciones, caracterizada por una tendencia creciente a lo largo del período estudiado, lo que indica un incremento progresivo en la contribución de la industria minera a la economía nacional durante el lapso temporal analizado.

A fin de visualizar de manera precisa esta evolución se ha elaborado un gráfico que representa dichos cambios, proporcionando una herramienta eficaz para la comprensión y el

análisis de la dinámica del valor FOB de las exportaciones mineras en el contexto económico peruano.

Figura 1

Gráfico de línea y estadística descriptiva de valor FOB de las exportaciones mineras del Perú, en millones de dólares, entre 2012 y 2022



La Figura 1 ofrece una representación visual del valor FOB de las exportaciones mineras del Perú, en millones de dólares, entre 2012 y 2022, mostrando una tendencia general al alza con fluctuaciones notables. En cuanto al análisis descriptivo la media fue de 2288.267 millones de dólares, con una mediana de 2235.407 millones. El rango osciló entre 1161.012 y 3977.386 millones de dólares, con una desviación estándar de 602.7702 millones. La asimetría (-0.593526) y la curtosis (2.758963) indican una leve inclinación hacia valores inferiores y una concentración alrededor de la media, respectivamente.

Asimismo, la serie temporal sugiere una caminata aleatoria con deriva y tendencia, donde cada valor parece ser el resultado de un paso aleatorio influenciado por factores persistentes que guían la dirección general de la serie temporal (Dickey y Fuller, 1979). Para precisar ello, se procede a la aplicación de la prueba de raíz unitaria.

Tabla 1

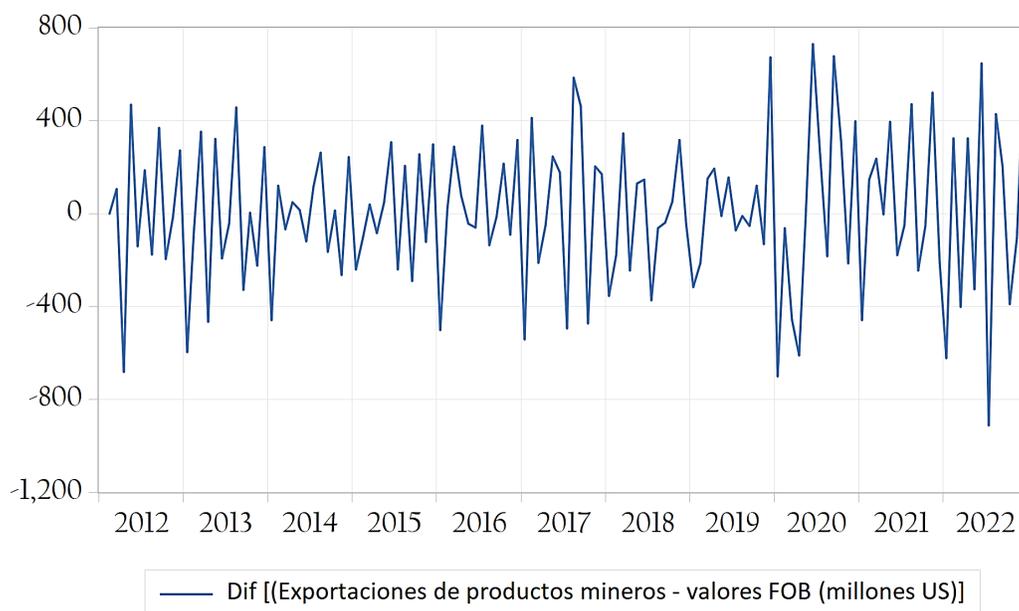
Prueba de raíz unitaria para la exportación minera en el Perú (2012-2022)

Augmented Dickey-Fuller Test
Data: Exportaciones de productos mineros – valor FOB (millones US)
Dickey-Fuller = -2.3612
Lag order = 5
p-value = 0.4263
Alternative hypothesis: stationary

El valor del estadístico de prueba de Dickey-Fuller aumentada es -2.3612 con un p-valor de 0.4263, como se muestra en la Tabla 1. Como el p-valor es mayor que 0.05, no es posible rechazar la hipótesis nula de que la serie tiene una raíz unitaria. Debido a que la serie no es estacionaria en su forma original sería prudente considerar aplicar la primera diferencia para inducir estacionariedad antes de formarla utilizando un modelo ARIMA.

Figura 2

Gráfico de línea de la primera diferencia de valor FOB de las exportaciones mineras del Perú, en millones de dólares (2012 y 2022)



La aplicación de la primera diferencia a la serie temporal elimina tanto el término de intercepto como el de tendencia, como se visualiza en la Figura 2, buscando capturar únicamente las variaciones estacionarias o aleatorias en los datos. Este enfoque permite una representación más precisa de la dinámica estacionaria subyacente, facilitando la interpretación y modelado de la serie temporal.

Tabla 2

Prueba de raíz unitaria para la exportación minera en el Perú (2012 a 2022)

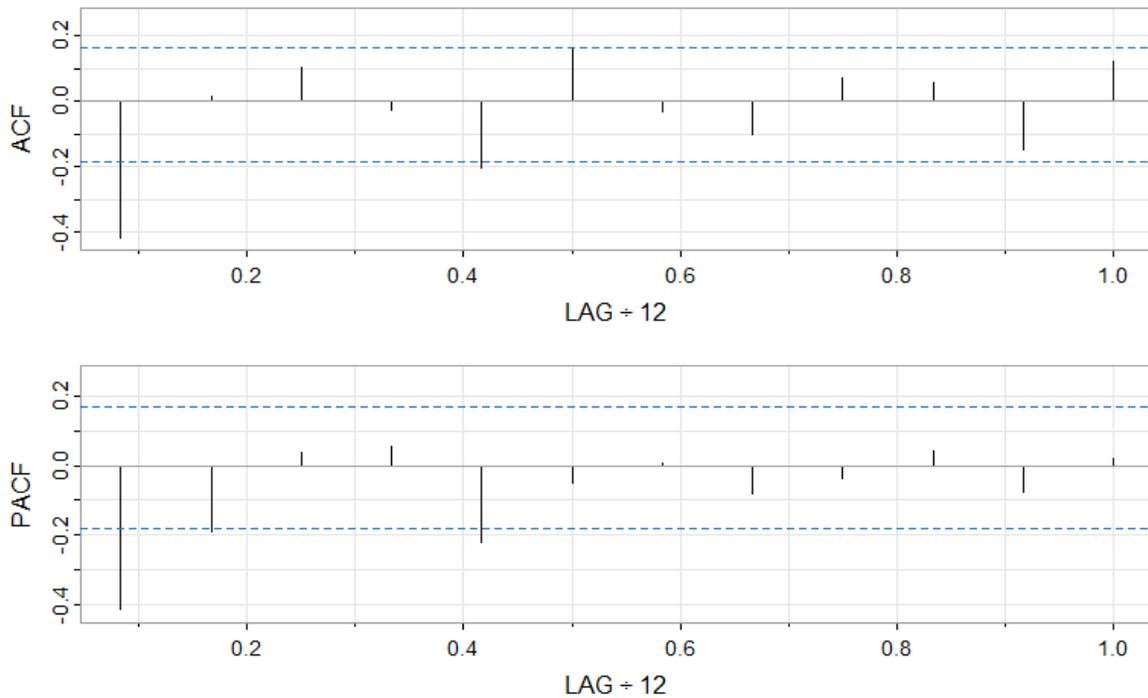
Augmented Dickey-Fuller Test
Data: Dif [Exportaciones de productos mineros – valor FOB (millones US)]
Dickey-Fuller = -5.869
Lag order = 5
p-value = 0.0000
Alternative hypothesis: stationary

La prueba de Dickey-Fuller aumentada arrojó un valor del estadístico de prueba de -5.869 con un valor p de 0.0000, como se observa en la Tabla 2. Como el valor p es significativamente menor que 0.05, se rechaza la hipótesis nula de raíz unitaria, indicando la estacionariedad de la serie. Esta estacionariedad sugiere que el modelo ARIMA asociado probablemente tenga un término de integración de orden uno.

Posterior a ello, se examina la estructura de autocorrelación de la serie temporal de las exportaciones mineras de Perú, ya que proporciona información sobre la dependencia temporal de los datos. En este contexto se emplean la ACF) y la PACF para identificar posibles patrones de autocorrelación que podrían indicar la presencia de componentes autorregresivos y de medias móviles en la serie (Flores et al., 2012).

Figura 3

Correlograma de exportación minera mensual en el Perú en primera diferencia (2012 y 2022)



El análisis de la ACF proyectado en la Figura 3 revela un patrón de autocorrelación significativa en el primer y en el undécimo rezago. Por otro lado, el análisis de la PACF muestra un patrón significativo en el primero y quinto.

La presencia de autocorrelaciones significativas en los primeros rezagos en ambas funciones sugiere la posible presencia de un modelo autorregresivo de orden 1 (AR(1)). Asimismo, la autocorrelación parcial en el quinto rezago indica la posible presencia de un término autorregresivo de orden 5 (AR(5)). En cuanto a las medias móviles no se observa un patrón claro de correlaciones significativas en la ACF y PACF, lo que sugiere una posible falta de componente de medias móviles en el modelo. De tal forma que el modelo sugerido resulta en ARIMA (5,1,0).

En ese sentido, para sustentar la selección del modelo se llevó a cabo una exhaustiva exploración de las posibles combinaciones de modelos ARIMA para las exportaciones mineras de Perú. Se consideraron diferentes órdenes de autorregresión, integración y medias móviles, así como sus combinaciones, con el objetivo de seleccionar los modelos más apropiados. Este proceso se llevó a cabo utilizando los criterios de información de Akaike (AIC) y Schwarz (BIC), ampliamente reconocidos en la literatura científica por su capacidad para seleccionar modelos que equilibran la precisión y la complejidad.

Tabla 3*Comparación de modelos ARIMA según Akaike (AIC) y Schwarz (BIC)*

N.º	Modelo ARIMA	AIC	BIC
1	(1, 1, 0)	1,862.382	1,868.148
2	(1, 1, 1)	1,860.547	1,869.195
3	(2, 1, 0)	1,859.294	1,867.942*
4	(2, 1, 1)	1,861.122	1,872.654
5	(3, 1, 0)	1,860.953	1,872.485
6	(3, 1, 1)	1,862.904	1,877.318
7	(4, 1, 0)	1,862.446	1,876.860
8	(4, 1, 1)	1,863.270	1,880.567
9	(5, 1, 0)	1,856.370*	1,873.667
10	(5, 1, 1)	1,858.256	1,878.436
11	(6, 1, 0)	1,858.245	1,878.425
12	(6, 1, 1)	1,860.147	1,883.209

De ahí que se seleccionaran las dos mejores combinaciones de modelos (2, 1, 0)(5, 1, 0), uno por cada criterio de información (Tabla 3). Posteriormente, se realizó una comparación adicional de medidas de error del conjunto de entrenamiento, para evaluar la capacidad predictiva y el ajuste de los modelos determinados. Este enfoque sistemático garantizó la identificación de los modelos más adecuados para capturar la compleja dinámica de las exportaciones mineras peruanas.

Tabla 4*Comparación de modelos ARIMA según medidas de error del conjunto de entrenamiento*

Nº	Modelo ARIMA	ME	RMSE	MAE
1	(2, 1, 0)	11.40985	284.2465	217.8797
2	(5, 1, 0)	11.74444	274.3399	214.4419

Para seleccionar los dos mejores modelos ARIMA de los presentados, se aplicará el criterio del error cuadrático medio (RMSE, por sus siglas en inglés *root mean square error*) y el error absoluto medio (MAE, por sus siglas en inglés *mean absolute error*). Estas métricas son comúnmente utilizadas en la evaluación de modelos de series temporales debido a su capacidad para proporcionar una medida de precisión y sesgo en las predicciones (Romanuke, 2022; Willmott y Matsuura, 2005). De los presentados, el modelo (5, 1, 0)

exhibe los valores más bajos de RMSE y MAE (Tabla 4). Esto sugiere una mejor capacidad de predicción en comparación con los otros. Este puede ser expresado como la Ecuación 1:

$$y_t = -0.4913 y_{t-1} - 0.1395 y_{t-2} + 0.0518 y_{t-3} - 0.0578 y_{t-4} - 0.2523 y_{t-5} \quad (1)$$

En el contexto de análisis de series temporales, pruebas como el test de Ljung-Box, de Jarque-Bera y el de Breusch-Pagan se utilizan para verificar la validez de las suposiciones subyacentes en los modelos y para evaluar la bondad del ajuste de los datos observados. De esa forma se aplicó, como se ve en la Tabla 5.

Tabla 5

Resultados de las pruebas estadísticas de autocorrelación, normalidad y homocedasticidad para el modelo ARIMA (5, 1, 0)

Prueba Estadística	Estadístico	Grados de libertad	Valor p
Ljung-Box	0.022523	1	0.8807
Jarque-Bera	0.27939	2	0.8696
Breusch-Pagan	1.8006	1	0.1796

El resultado del test de Ljung-Box para los residuos del modelo indica que el valor de chi-cuadrado es de 0.022523 con un grado de libertad de uno y un valor p de 0.8807. Lo anterior sugiere que no hay evidencia significativa de autocorrelación en los residuos del modelo e indica que el modelo captura adecuadamente la estructura de dependencia temporal presente en los datos (Brockwell y Davis, 2016).

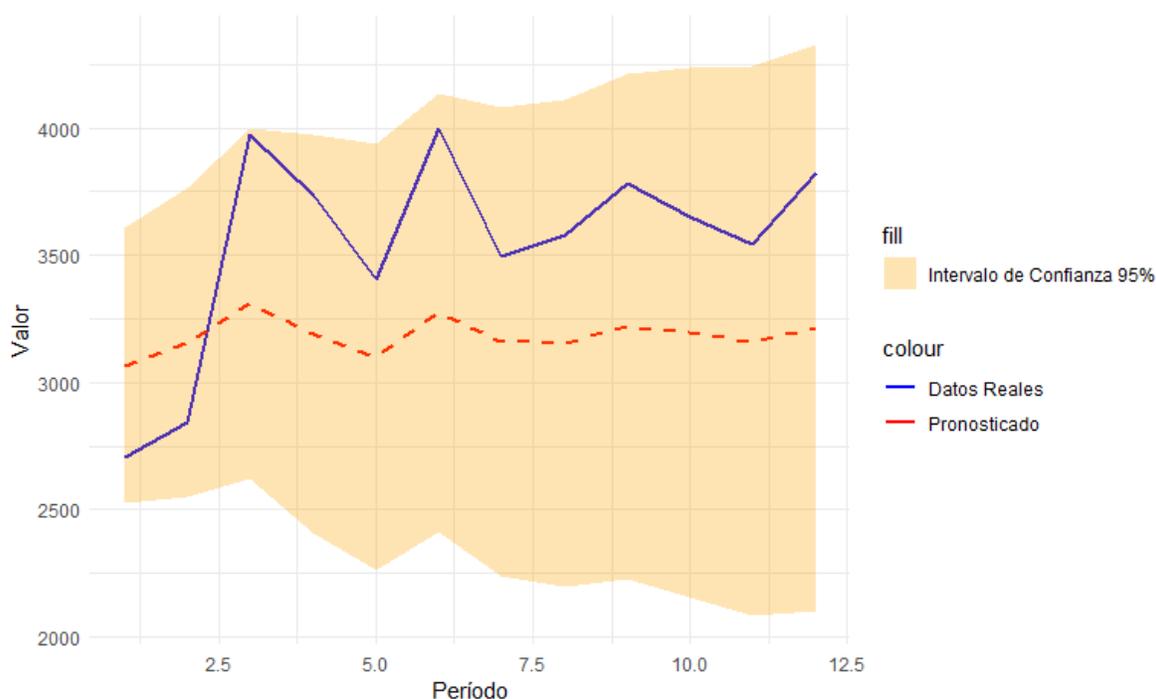
Por otro lado, el test de Jarque-Bera para la normalidad de los residuos arroja un valor de chi-cuadrado de 0.27939 con dos grados de libertad y un valor p de 0.8696. Este resultado no proporciona evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula de normalidad de los residuos, lo que advierte que los residuos del modelo pueden seguir una distribución normal (Greene, 2002).

Además, el test de Breusch-Pagan para la homocedasticidad de los residuos arroja un valor de estadístico BP de 1.8006 con un grado de libertad de uno y un valor p de 0.1796. En estos términos no hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula de homocedasticidad de los residuos, lo que sugiere que la varianza de los residuos es constante a lo largo del tiempo (Enders, 2014).

En conjunto, estos resultados sugieren que el modelo (5, 1, 0) es adecuado para modelar la serie temporal, ya que los residuos del modelo no muestran autocorrelación significativa, parecen seguir una distribución normal y exhiben homocedasticidad. Esto respalda la elección de este modelo como el óptimo para el análisis de la serie temporal en cuestión. Por tanto, se procede a aplicar *forecast* para verificar si durante el período 2023 los datos están acorde a lo estimado por el modelo.

Figura 4

Comparación de datos reales y pronóstico para las exportaciones mineras del Perú, en millones de dólares, período 2023



Basado en una comparación rigurosa entre las predicciones generadas por el modelo ARIMA (5,1,0) y los datos reales, así como en un análisis exhaustivo de los intervalos de confianza al 95%, se concluye que el modelo exhibe un rendimiento óptimo en la predicción de la serie temporal proporcionada, como se visualiza en la Figura 4. Este juicio se sustenta en la consistencia entre las predicciones y los valores observados en la mayoría de los meses, donde las discrepancias son mínimas y dentro del rango esperado dadas las variaciones inherentes en los datos. Además, la amplitud de los intervalos de confianza refleja adecuadamente la incertidumbre asociada con las predicciones, lo que es una característica

deseable en modelos predictivos. Este modelo ARIMA ha demostrado su capacidad para capturar las tendencias y patrones subyacentes en los datos, proporcionando estimaciones confiables, fundamentales para la toma de decisiones informadas.

Discusión

Al evaluar los resultados del modelo ARIMA (5, 1, 0) para prever las exportaciones mineras en el Perú, es esencial contextualizar estos hallazgos. El sector minero peruano desempeña un papel crucial en la economía del país (Narrea, 2018). Esta afirmación respalda la importancia de contar con modelos precisos para pronosticar las exportaciones mineras, ya que estas representan más del 60% del total de exportaciones en términos de valor FOB (Banco Central de Reserva del Perú, 2022; OVE, 2016).

Al comparar los resultados obtenidos con investigaciones previas, se puede observar que el modelo ARIMA (5, 1, 0) exhibe un desempeño similar o superior en términos de precisión y capacidad predictiva. Por ejemplo, en el estudio sobre las exportaciones de petróleo y gas en Indonesia se utilizó el método ARIMA para prever los niveles de exportación, encontrando que el modelo ARIMA (0, 1, 1) era el más adecuado (Ahmar et al., 2022). Este resultado es consistente con la eficacia demostrada del modelo ARIMA en diferentes contextos económicos y sectoriales.

Además, en un análisis de las exportaciones de camarón de Ecuador se aplicó un enfoque de modelo ARIMA (1, 0, 1) para predecir las exportaciones, y se halló una tendencia creciente en los datos (Herrera Freire et al., 2021). Estos resultados son complementarios a los obtenidos en el estudio actual, ya que ambos demuestran la capacidad del modelo ARIMA para capturar y prever tendencias en series temporales de exportación.

Asimismo, al comparar los resultados obtenidos en este estudio con investigaciones previas (Chafloque-Céspedes et al., 2018; Izquierdo et al., 2022) se destaca la coherencia en los hallazgos estadísticos y metodológicos. Aunque se emplearon especificaciones de modelos ligeramente diferentes, la convergencia en el enfoque de pronóstico de exportaciones mineras respalda la robustez de los modelos ARIMA para capturar las tendencias subyacentes en los datos.

La capacidad del modelo ARIMA (5, 1, 0) para ofrecer predicciones precisas, incluso en un contexto de incertidumbre como el generado por la pandemia de covid-19, subraya su

utilidad en el análisis y pronóstico del sector minero peruano. Esto sugiere que, a pesar de las variaciones en la metodología, los modelos ARIMA continúan siendo herramientas valiosas para comprender y prever las exportaciones mineras en el Perú, especialmente en períodos de cambio económico y financiero como los ocasionados por la pandemia.

Conclusiones

Respecto al análisis del modelo ARIMA (5, 1, 0) para pronosticar las exportaciones mineras en el Perú se enfatiza su relevancia y robustez en el contexto económico. La importancia del sector minero en la economía peruana, destacada por su significativa contribución al valor total de las exportaciones, subraya la necesidad de herramientas de pronóstico. La validación de este modelo se refleja en su capacidad para ofrecer pronósticos puntuales, respaldada por su comparación con investigaciones previas tanto a nivel nacional como internacional.

La convergencia en los resultados entre estudios anteriores y el presente análisis refuerza la consistencia y fiabilidad del enfoque ARIMA en el pronóstico de series temporales. Esta coherencia, a pesar de ligeras variaciones en las especificaciones del modelo, propone una sólida base metodológica y estadística.

Por ende, se concluye que el modelo ARIMA (5, 1, 0) es una herramienta efectiva y confiable para la predicción de exportaciones mineras en el Perú, ofreciendo información valiosa para la toma de decisiones en políticas y estrategias comerciales en el sector minero.

Referencias

- Ahmar, A. S., Botto-Tobar, M., Rahman, A. & Hidayat, R. (2022). Forecasting the Value of Oil and Gas Exports in Indonesia using ARIMA Box-Jenkins. *JINAV: Journal of Information and Visualization*, 3(1), 35-42.
- Banco Central de Reserva del Perú. (2022). *Memoria 2022*. Banco Central de Reserva del Perú. <https://www.bcrp.gob.pe/docs/Publicaciones/Memoria/2022/memoria-bcrp-2022.pdf>
- Brockwell, P. & Davis, R. (2016). *Introduction to Time Series and Forecasting* (3rd ed.). Springer.
- Chafloque-Céspedes, M., Chung, V. y Cotrina, A. B. (2018). Modelación de las dinámicas, estimación y análisis de las exportaciones mineras: caso peruano. *Alternativas*, 19(3), 37-45. <https://doi.org/10.23878/alternativas.v19i3.264>
- Dickey, D. & Fuller, W. (1979). Distribution of the Estimators for Autoregressive Time Series with a Unit Root. *Journal of the American Statistical Association*, 74(366), 427-431. <https://doi.org/10.2307/2286348>
- Enders, W. (2014). *Applied Econometric Time Series* (4th ed.). Wiley.
- Erlina, R., & Azhar, R. (2020). Forecasting Model of Agriculture Commodity of Value Export of Coffee; Application of Arima Model. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, 9(3), 257-263.
- Farooqi, A. (2014). Arima Model Building and Forecasting on Imports and Exports of Pakistan. *Pakistan Journal of Statistics and Operation Research*, 10(2), 157-168. <https://doi.org/10.18187/pjsor.v10i2.732>
- Flores, J., Engel, P. & Pinto, R. C. (2012). Autocorrelation and Partial Autocorrelation Functions to Improve Neural Networks Models on Univariate Time Series Forecasting. *The 2012 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*. <https://doi.org/10.1109/IJCNN.2012.6252470>
- Greene, W. (2002). *Econometric Analysis* (5th ed.). Pearson Education.

- Gujarati, D. y Porter, D. (2010). *Econometría* (5ª ed.). McGraw-Hill.
- Herrera, A., Herrera, A. y Betancourt, V. (2021). Análisis de la proyección de las exportaciones de camarón del Ecuador. *Revista Científica Agroecosistemas*, 9(2), 7-12. <https://aes.ucf.edu/cu/index.php/aes/article/view/462>
- Izquierdo, M., Solano, M. y Tapia, C. (2022). Modelo de pronóstico de la exportación minera en el Perú, 2020. *Revista de Investigación Estadística*, 4(1), 66-76. <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/REDIES/article/view/4419>
- Martínez, E., García, S. y Rivera, E. (2022). Afectación económica por Covid-19 en la industria del comercio electrónico, un estudio comparativo: Amazon, Mercado Libre y Shopify. *Diagnóstico FACIL Empresarial, Finanzas, Auditoría, Contabilidad, Impuestos, Legal*, 17(9), 26–35. <https://doi.org/10.32870/dfe.vi17.120>
- Ministerio de Energía y Minas. (2021). *Boletín Estadístico Minero*. Ministerio de Energía y Minas. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2802527/BEM%20%2012-2021.pdf.pdf?v=1644589735>
- Narrea, O. (2018). *Agenda 2030. La minería como motor de desarrollo económico para el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 8, 9, 12 y 17*. CIES. https://www.up.edu.pe/egp/Documentos/agenda_2030_la_mineria_como_motor_de_desarrollo_economico_para_el_cumplimiento_de_los_ods_8_9_12_y_17.pdf
- OVE. (2016). *Evaluación del programa de país: Perú 2012-2016*. BID. <https://publications.iadb.org/es/publicacion/17210/evaluacion-del-programa-de-pais-peru-2012-2016>
- Ricardo, D. (2014). *On the Principles of Political Economy, and Taxation*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107589421>
- Roch, E. (1970). El teorema de Heckscher-Ohlin y los países subdesarrollados. *Investigación Económica*, 30(120), 647-659. <http://www.jstor.org/stable/42778161>
- Romanuke, V. (2022). Arima Model Optimal Selection for Time Series Forecasting. *Maritime Technical Journal*, 224(1), 28-40.

Willmott, C. & Matsuura, K. (2005). Advantages of the Mean Absolute Error (MAE) Over the Root Mean Square Error (RMSE) in Assessing Average Model Performance. *Climate Research*, 30(1), 79-82. <https://doi.org/10.3354/cr030079>