

Dinámica de corto plazo y pronóstico del consumo eléctrico per cápita en Ecuador: Evidencia empírica mediante un modelo ARIMAX

Short-Run dynamics and forecasting of per capita electricity consumption in Ecuador: Empirical evidence using ARIMAX model

Xavier Rodríguez-Cruz

Ecuador Consultores Integrales Econintsa, Ecuador

xavier.rodriguezc@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-2931-0702>

Recepción: 16 Febrero 2026

Aprobación: 03 Julio 2026

Publicado: 23 Julio 2026

 *Versión en inglés aquí*

DOI: <https://doi.org/10.25097/rep.n44.2026.04>

Cómo citar/How to cite: Rodríguez-Cruz, X. (2026). Dinámica de corto plazo y pronóstico del consumo eléctrico per cápita en Ecuador: Evidencia empírica mediante un modelo ARIMAX. *Revista Economía y Política*, (44), 59-76. <https://doi.org/10.25097/rep.n44.2026.04>

RESUMEN

Este estudio analiza la dinámica del consumo eléctrico per cápita en Ecuador y su relación con el PIB per cápita y las emisiones de CO₂ durante el período 1990-2022. Las pruebas Dickey-Fuller aumentadas (ADF), indican que las variables son integradas de orden uno I(1), mientras que el procedimiento de Engle-Granger confirma la existencia de una relación de equilibrio de largo plazo entre las series. Dado que el objetivo principal es la previsión energética a mediano plazo, más que la inferencia estrictamente causal, se estima un modelo ARIMAX (1,0,2) en niveles para preservar la información a largo plazo y capturar la dinámica temporal del consumo de electricidad. La selección del modelo se realizó mediante criterios AIC, AICc y BIC, complementados con una validación fuera de muestra para 2019-2022. Los resultados evidencian elevada persistencia temporal del consumo eléctrico y una elasticidad ingreso positiva, permitiendo generar proyecciones dinámicas hasta 2026 con adecuado desempeño predictivo.

PALABRAS CLAVE: energía, arimax, pronóstico, elasticidad, electricidad, forecasting

ABSTRACT

This study analyzes the dynamics of per capita electricity consumption in Ecuador and its relationship with per capita GDP and CO₂ emissions during the period 1990–2022. Augmented Dickey-Fuller (ADF) tests indicate that the variables are integrated of order one I (1), while the Engle-Granger procedure confirms the existence of a long-term equilibrium relationship between the series. Since the main objective is medium-term energy forecasting, rather than strictly causal inference, an ARIMAX (1,0,2) model is estimated in levels to preserve long-term information and capture the temporal dynamics of electricity consumption. Model selection was performed using AIC, AICc, and BIC criteria, complemented by out-of-sample validation for 2019–2022. The results show high temporal persistence of electricity consumption and a positive income elasticity, allowing for the generation of dynamic projections up to 2026 with adequate predictive performance.

KEYWORDS: energy, arimax, forecast, elasticity, electricity, forecasting

INTRODUCCIÓN

El consumo de energía eléctrica desempeña un papel central en el proceso de desarrollo económico, por ser un insumo transversal para la producción, los servicios y los hogares. La literatura económica ha documentado ampliamente la estrecha relación entre el uso de energía y el crecimiento económico del ingreso, la industrialización y la mejora en los niveles de bienestar (Stern, 2004; Apergis y Payne, 2010). En países en desarrollo, como en Ecuador, esta relación adquiere particular relevancia debido a la coexistencia de restricciones en la infraestructura energética, volatilidad macroeconómica y limitaciones institucionales en la planificación a largo plazo (Ouedraogo, 2017).

El sector eléctrico ha experimentado transformaciones significativas en las últimas décadas, impulsadas por las inversiones en generación, cambios en la matriz energética y políticas orientadas a la sostenibilidad (Ministerio de Energía y Minas, 2023). No obstante, la planificación del sistema eléctrico continúa enfrentando desafíos asociados a la disponibilidad oportuna de información estadística. En particular, los datos oficiales sobre consumo eléctrico per cápita suelen publicarse con rezagos de uno o más años, lo que dificulta su uso para la toma de decisiones de corto plazo y la evaluación contemporánea de políticas públicas.

En este contexto, el *forecasting* surge como una herramienta empírica relevante para proyectar la evolución futura del consumo eléctrico a partir de la dinámica histórica de variables macroeconómicas y energéticas, permitiendo generar escenarios prospectivos útiles para la planificación de demanda y formulación de políticas públicas (Hyndman y Athanasopoulos, 2021; Box et al., 2015).

En el ámbito energético, diversos estudios han aplicado modelos de series de tiempo para pronosticar la demanda eléctrica, destacándose los enfoques ARIMA y ARIMAX por su flexibilidad y solidez econométrica (Box y Jenkins, 1976; Liu y Lin, 1991). La inclusión de variables exógenas permite capturar la influencia de factores macroeconómicos y ambientales, mejorando la capacidad explicativa y predictiva de los modelos de series temporales (Box et al., 2015; Hyndman y Athanasopoulos, 2021). En particular, el producto interno bruto (PIB) per cápita se ha consolidado como un determinante clave del consumo energético (Kraft y Kraft, 1978; Ozturk, 2010), mientras que las emisiones de CO₂ per cápita reflejan parcialmente la intensidad energética, la estructura productiva y el grado de dependencia de combustibles fósiles de la economía (Warr et al., 2010).

Este estudio contribuye a la literatura aplicada sobre demanda energética en Ecuador mediante la estimación de un modelo ARIMAX para el consumo eléctrico per cápita, incorporando variables macroeconómicas y ambientales relevantes. A diferencia de enfoques centrados exclusivamente en relaciones causales de largo plazo, la investigación prioriza el *forecasting* energético de mediano

plazo y la validación fuera de muestra, genera proyecciones dinámicas útiles para la planificación energética y evaluación de demanda eléctrica hasta el año 2026.

La estrategia empírica combina la estimación del consumo eléctrico con la proyección de las variables exógenas mediante modelos ARIMA univariados, extiende el horizonte de *forecasting* en ausencia de información observada (Hyndman y Athanasopoulos, 2021).

A diferencia de trabajos previos centrados principalmente en relaciones causales o proyecciones agregadas de largo plazo, esta investigación enfatiza el *forecasting* energético de mediano plazo y la consistencia econométrica del modelo, incorporando pruebas de estacionariedad, cointegración, validación fuera de muestra y diagnósticos de especificación dinámica (Engle y Granger, 1987; Hyndman y Athanasopoulos, 2021).

Adicionalmente, la evaluación predictiva fuera de muestra permite examinar la robustez del modelo frente a perturbaciones macroeconómicas y limitaciones de tamaño muestral, aspecto especialmente relevante en aplicaciones de forecasting económico (Pesaran y Timmermann, 2005).

En ese contexto, el estudio no solo aporta evidencia empírica sobre la dinámica del consumo eléctrico per cápita en Ecuador, sino que también propone una estrategia metodológica replicable para economías emergentes con restricciones de información y limitada disponibilidad de datos de alta frecuencia.

REVISIÓN DE LITERATURA

La relación entre crecimiento económico y consumo energético se ha convertido en uno de los temas centrales de la economía de la energía durante las últimas cuatro décadas, desde una perspectiva neoclásica ampliada, Stern (1993) propuso la incorporación de la energía como un factor productivo adicional dentro de la función de producción agregada, argumentando que las formulaciones tradicionales subestiman sistemáticamente su contribución al producto. En este marco conceptual, el consumo eléctrico no solo actúa como un indicador asociado al nivel de actividad económica, sino que puede influir directamente sobre la productividad total de los factores a través de procesos de mecanización, automatización y eficiencia tecnológica.

Desde los trabajos pioneros de Kraft y Kraft (1978), la evidencia empírica ha documentado distintos patrones de causalidad entre consumo energético y crecimiento económico, dependiendo de la estructura productiva y el nivel de desarrollo de cada economía.

En economías en desarrollo, la electricidad suele comportarse como un insumo intermedio fundamental para la expansión productiva, generando relaciones procíclicas entre actividad económica y demanda energética (Apergis y Payne, 2009). Esta evidencia respalda la hipótesis de dependencia energética del crecimiento, según la cual el aumento del ingreso per cápita impulsa sistemáticamente el consumo eléctrico.

No obstante, la literatura empírica se ha concentrado en el análisis de relaciones de largo plazo mediante modelos de cointegración y vector de corrección de errores (Johansen, 1991; Engle y Granger, 1987). Aunque estos enfoques son útiles para identificar equilibrios estructurales entre variables macroeconómicas y energéticas, presentan limitaciones cuando el objetivo principal es el forecasting energético y la evaluación predictiva de corto y mediano plazo.

En este contexto, investigaciones recientes han enfatizado la importancia de modelos dinámicos orientados al pronóstico para apoyar procesos de planificación energética y diseño de política pública (Hyndman y Athanasopoulos, 2021).

Los modelos ARIMA son una de las metodologías más consolidadas en el análisis de series temporales, debido a su capacidad para modelar persistencia, componentes autorregresivos y estructuras dinámicas de corto plazo.

Cuando la variable de interés depende además de factores macroeconómicos observables, la extensión natural corresponde a los modelos ARIMAX, los cuales incorporan regresores exógenos dentro de la estructura dinámica del proceso. Diversos estudios han mostrado que los modelos ARIMAX mejoran significativamente la capacidad predictiva respecto a especificaciones puramente univariadas en aplicaciones de demanda energética (Contreras et al., 2003; Mohamed y Bodger, 2005).

Estudios recientes han enfatizado la importancia de modelos econométricos y de series de tiempo para estimar el consumo energético y otros indicadores relacionados, en la que destacan su utilidad tanto en el corto como en el medio plazo, en ese contexto, Mustafa y Al-Yozbaky, (2025) realizan un análisis comparativo de más de 145 investigaciones enfocadas en modelos de series de tiempo aplicados al pronóstico de demanda, consumo y producción energética, los autores comparan metodologías como Moving Average (MA), Exponential Smoothing (ES), ARMA, ARIMA, Fuzzy Time Series (FTS), Prophet y modelos Gray Prediction, evaluando su desempeño mediante indicadores de precisión como RSME, MAE, MAPE y R^2 , resaltando que los modelos ARIMA y sus extensiones continúan siendo técnicas confiables para la predicción cuando hay series de tiempo históricas disponibles.

Moslemi et al. (2024) destacan que la elevada demanda energética de California, considerada una de las mayores economías y consumidores de energía de Estados Unidos, requiere herramientas robustas de forecasting para apoyar la planificación energética y el diseño de políticas públicas. Mediante la aplicación de modelos ARIMA y ARIMAX, los autores analizan el comportamiento del consumo energético por fuentes y sectores económicos, incorporando variables exógenas y considerando las distorsiones generadas por la pandemia de COVID-19 y las limitaciones de disponibilidad de datos recientes. Los resultados muestran que, aunque los combustibles fósiles continúan predominando en la matriz energética californiana, las fuentes renovables, especialmente la energía solar y la biomasa, presentan una expansión progresiva.

En el contexto ecuatoriano, el consumo de electricidad ha mostrado un incremento constante a lo largo de las últimas décadas, reflejando tanto la expansión de la actividad económica como cambios en los patrones de consumo de los hogares y sectores productivos, estudios nacionales ha explorado la relación entre energía y crecimiento desde diversas perspectivas teóricas y empíricas. Renteria et al. (2016) realiza un estudio de la relación entre emisiones contaminantes, crecimiento económico y consumo de energía para el período 1971 a 2010 encontrando una relación lineal monótona creciente, la cual señala que el PIB está asociado a creciente niveles de emisiones de CO_2 a largo plazo; y, con respecto al consumo de energía se encontró una relación inversa en el largo plazo, es decir que a medida que aumenta el consumo de energía, el PIB disminuye. La metodología usada en este estudio fue de vectores autorregresivos y cointegración de Johansen, los resultados permitieron concluir que no se cumple la Curva de Kuznets Ambiental (CKA).

Chong y Aguilar (2016) realizan la proyección de series de tiempo para el consumo de la energía eléctrica a clientes residenciales en Ecuador, los autores aplican modelos ARIMA y ARIMAX para pronosticar el consumo eléctrico considerando variables económicas como ingreso, precio de la electricidad y precio del petróleo. Los resultados muestran elevados niveles de ajuste y precisión predictiva, evidenciando además que el ingreso presenta una relación positiva con demanda eléctrica, mientras que el precio de la electricidad ejerce un efecto negativo sobre el consumo, lo que respalda la utilidad de los modelos de series de tiempo para la planificación y evaluación de políticas energéticas en Ecuador.

Otro estudio relevante es el realizado por Mendez-Santos et al. (2025) en la que utiliza técnicas ARIMAX en el análisis de datos mensuales para modelar el costo medio de suministro de energía, integrando variables operacionales y económicas, alcanzado niveles de precisión predictiva, aunque este trabajo se enfoca en precios, complementa la literatura local que emplea metodologías de series de tiempo para comprender la dinámica energética nacional.

Hidalgo y Chuquin (2024) desarrollan un estudio aplicado al modelamiento del consumo eléctrico residencial en el cantón Latacunga, evaluando posible impacto de escenarios de confinamiento sobre la demanda energética de los hogares, los resultados evidencian que eventos extraordinarios, como los confinamientos, pueden alterar significativamente la dinámica del consumo eléctrico residencial, incrementando la presión sobre los sistemas de distribución energética. El estudio destaca además la importancia de incorporar herramientas de forecasting y simulación en la planificación energética y gestión de contingencias, proporcionando evidencia útil para la toma de decisiones tanto empresariales como gubernamentales de alta incertidumbre.

Korablyov et al. (2024) analizan los principales modelos de previsión, como los modelos estadísticos (modelo autorregresivo, media móvil, suavizado exponencial, media móvil con autorregresión e integración) y los modelos de aprendizaje profundo (red neuronal artificial, red neuronal recurrente, memoria a corto y largo plazo, transformador), indicando sus ventajas y desventajas, y seleccionando el mejor. Se presentan los resultados experimentales de un análisis comparativo de los modelos de previsión del consumo eléctrico, que mostraron que el modelo transformador fue entre un 1,5% y un 2% más eficaz en la previsión del consumo eléctrico según diversas métricas.

Estas investigaciones sugieren que si bien los modelos tradicionales siguen siendo competitivos, el uso de técnicas complementarias puede potenciar la precisión en escenarios complejos o con relaciones no lineales.

Aunque existe literatura relevante sobre energía y crecimiento en Ecuador y América Latina, persisten vacíos importantes en relación con enfoques de forecasting energético con validación rigurosa fuera de muestra, lo que limita la utilidad práctica de las proyecciones para la planificación energética y el diseño de política pública.

En ese mismo orden de ideas, pocos estudios modelan de manera específica el consumo eléctrico per cápita incorporando determinantes macroeconómicos dentro de un esquema dinámico de series temporales de corto y mediano plazo. De igual manera, existe escasa evidencia empírica sobre proyecciones consistentes del PIB per cápita y las emisiones de CO₂ integradas en un marco unificado de pronóstico de demanda eléctrica. En este contexto, el presente estudio justifica la aplicación de un modelo ARIMAX con validación fuera de muestra, proyección dinámica de variables exógenas y evaluación predictiva, proporcionando evidencia empírica útil para fortalecer los procesos de planificación energética y prospectiva de demanda eléctrica en Ecuador.

MATERIALES Y MÉTODOS

El análisis empírico utiliza información anual para Ecuador correspondiente al período 1990-2022 de los Indicadores de Desarrollo Mundial del Banco Mundial¹, las variables consideradas son:

- E_t : consumo de energía eléctrica per cápita (KWh por habitante);
- Y_t : Producto Interno Bruto per cápita en términos de paridad de poder adquisitivo (PPA), expresado en dólares internacionales constantes de 2017;
- C_t : emisiones de dióxido de carbono (CO₂) per cápita, excluyendo el sector de uso de suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura (LULUCF), medidas en toneladas métricas por habitante.

El PIB per cápita sirve como indicador indirecto de los ingresos y la actividad económica agregada, reflejando las presiones de la demanda sobre el consumo de electricidad. Las emisiones de CO₂ per cápita capturan las características estructurales del nexo entre energía y economía, incluyendo la dependencia de los combustibles fósiles y la intensidad energética.

1 <https://datos.bancomundial.org/pais/ecuador>

Las series utilizadas garantizan la coherencia metodológica y la comparabilidad internacional, así mismo, el uso de indicadores per cápita mitiga los efectos de escala y permite que el análisis se centre en las dinámicas estructurales del consumo eléctrico.

Con el objetivo de estabilizar la varianza, reducir posible problemas de heterocedasticidad y permitir la interpretación directa de los coeficientes como elasticidades, todas las variables se transforman en logaritmos naturales. La transformación logarítmica resulta particularmente adecuada en estudios macroeconómicos de largo plazo, dado que linealiza relaciones potencialmente multiplicativas, reduce asimetrías en la distribución y permite interpretar los coeficientes estimados como elasticidades.

De manera previa a la estimación econométrica, se evalúan las propiedades estocásticas de las series mediante el test de Dickey-Fuller Aumentado (ADF), incorporando componentes determinísticos y selección óptimos de rezagos. La especificación general considerada es:

$$\Delta X_t = \alpha + \beta t + \gamma X_{t-1} + \sum_{i=1}^p \delta_i \Delta X_{t-i} + \varepsilon_t \quad (1)$$

Donde $X_t \in \{\ln E_t, \ln Y_t, \ln C_t\}$, Δ representa el operador de primera diferencia y corresponde al número óptimo de rezagos incorporados para eliminar autocorrelación serial en los residuos.

La hipótesis nula establece la presencia de raíz unitaria ($H_0: \gamma = 0$), mientras que la hipótesis alternativa implica estacionariedad ($H_1: \gamma < 0$).

La literatura clásica de series temporales ha documentado ampliamente que agregados macroeconómicos como el PIB, el consumo energético y las emisiones, tienden a comportarse como procesos integrados de orden uno, $I(1)$ (Hamilton, 1994; Enders, 2004).

En este contexto, la presencia de una tendencia estocástica implica que la primera diferencia de la serie es estacionaria, lo cual condiciona la especificación dinámica del modelo y evita problemas de regresiones espurias señaladas originalmente por Granger y Newbold (1974).

Considerando que las variables pueden compartir tendencias estocásticas comunes, se evalúa adicionalmente la existencia de relaciones de equilibrio de largo plazo mediante el procedimiento de Engle y Granger (1987). En la primera etapa se estima la ecuación de cointegración:

$$\ln(E_t) = \alpha + \beta_1 \ln(Y_t) + \beta_2 \ln(C_t) + u_t \quad (2)$$

En la segunda etapa, se aplica una prueba Dickey-Fuller Aumentada sobre los residuos estimados:

$$\Delta \hat{u}_t = \rho \hat{u}_{t-1} + \sum_{i=1}^k \phi_i \Delta \hat{u}_{t-i} + \varepsilon_t \quad (3)$$

El modelo principal estimado corresponde a un proceso ARIMA con regresores exógenos (ARIMAX), cuya forma general puede expresarse como:

$$\Phi(L)(1-L)^d \ln(E_t) = \alpha + \beta_1 \ln(Y_t) + \beta_2 \ln(C_t) + \Theta(L)\varepsilon_t \quad (4)$$

donde L representa es el operador rezago, $\Phi(L)$ y $\Theta(L)$ corresponden a los polinomios autorregresivos y de medias móviles respectivamente, d es el orden de diferenciación y ε_t es un término de error con media cero y varianza constante.

En forma expandida:

$$\ln(E_t) = \alpha + \sum_{i=1}^p \phi_i \ln(E_{t-i}) + \sum_{j=1}^q \theta_j \varepsilon_{t-j} + \beta_1 \ln(Y_t) + \beta_2 \ln(C_t) + \varepsilon_t \quad (5)$$

La selección del orden óptimo (p,d,q) se realiza mediante el Criterio de Información de Akaike (AIC):

$$AIC = -2 \ln(\hat{L}) + 2k \quad (6)$$

donde $\hat{L}$ es el valor máximo de la función de verosimilitud y k el número de parámetros estimados. La estimación se lleva a cabo mediante máxima verosimilitud.

Dado el reducido tamaño muestral ($n = 33$) se reporta adicionalmente el criterio corregido AICc:

$$AICc = AIC + \frac{2k(k+1)}{n-k-1} \quad (7)$$

Burnham y Anderson (2002) recomiendan el uso del AICc cuando la relación $n/k < 40$, condición que se cumple en el presente estudio.

Esta especificación permite capturar la dinámica autorregresiva del consumo eléctrico, modelar la estructura de correlación serial de los errores y estimar elasticidades contemporáneas respecto al ingreso y las emisiones.

La selección de la especificación ARIMAX se realiza mediante un procedimiento secuencial en dos etapas. En la primera etapa se estima diferentes modelos candidatos utilizando la muestra de entrenamiento correspondiente al período 1990-2018. Las especificaciones fueron comparadas mediante los criterios de información Akaike (AIC), Akaike corregido (AICc) y Bayesiano (BIC), con el propósito de identificar el modelo que con mejor equilibrio entre calidad de ajuste y parsimonia.

Posteriormente, la capacidad predictiva de la especificación seleccionada se evalúa mediante una validación fuera de muestra, reservando las observaciones del período 2019-2022 como muestra de evaluación. El desempeño predictivo se cuantifica mediante el Error Cuadrático Medio (RMSE), definido como:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T [\ln(E_t) - \ln(\widehat{E}_t)]^2} \quad (8)$$

Donde E_t representa el consumo eléctrico esperado, $\widehat{E}_t$ el valor pronosticado y T el número de observaciones de la muestra de evaluación. Valores menores de RMSE indican una mayor precisión predictiva.

Finalmente, seleccionada la especificación con mejor desempeño predictivo, el modelo fue reestimado utilizando la muestra completa (1990-2022). Esta estimación final es la base para el análisis econométrico, la interpretación de los parámetros y la generación de los pronósticos del consumo eléctrico per cápita.

Este procedimiento permite examinar la robustez del modelo frente a datos no utilizados en la estimación y evaluar su desempeño en presencia de choques macroeconómicos recientes.

Con el fin de verificar la adecuada especificación dinámica del modelo, se aplica el test de Ljung-Box para evaluar ausencia de autocorrelación serial en los residuos:

$$Q = n(n+2) \sum_{k=1}^m \frac{\hat{\rho}_k^2}{n-k} \quad (9)$$

donde $\hat{\rho}_k$ representa la autocorrelación muestral de orden k . Bajo la hipótesis nula de ausencia de correlación serial, el estadístico sigue aproximadamente una distribución χ^2 con $m-p-q$ grados de libertad.

Adicionalmente, se realiza inspección gráfica de residuos, histogramas y funciones de autocorrelación (ACF), con el objetivo de verificar comportamiento tipo ruido blanco y ausencia de patrones sistemáticos.

Considerando que el modelo ARIMAX requiere valores futuros de las variables explicativas para generar pronósticos, se estiman modelo ARIMA univariados para $\ln(Y_t)$ y $\ln(C_t)$. Las proyecciones obtenidas permiten construir la matriz de regresores futuros y generar forecasts dinámicos del consumo eléctrico per cápita hasta 2026.

El *forecasting* dinámico se obtiene mediante:

$$\ln(\widehat{E_{t+h}}) = \hat{\alpha} + \sum_{i=1}^p \hat{\phi}_i \ln(E_{t+h-i}) + \hat{\beta}_1 \ln(\widehat{Y_{t+h}}) + \hat{\beta}_2 \ln(\widehat{C_{t+h}}) \quad (10)$$

Los intervalos de confianza al 95% se calculan utilizando la varianza del error de pronóstico:

$$\ln(\widehat{E_{t+h}}) \pm 1.96 \cdot \hat{\sigma}_{forecast} \quad (11)$$

Finalmente, los valores proyectados se transforman a niveles mediante la función exponencial:

$$\widehat{E_{t+h}} = \exp(\ln(\widehat{E_{t+h}})) \quad (12)$$

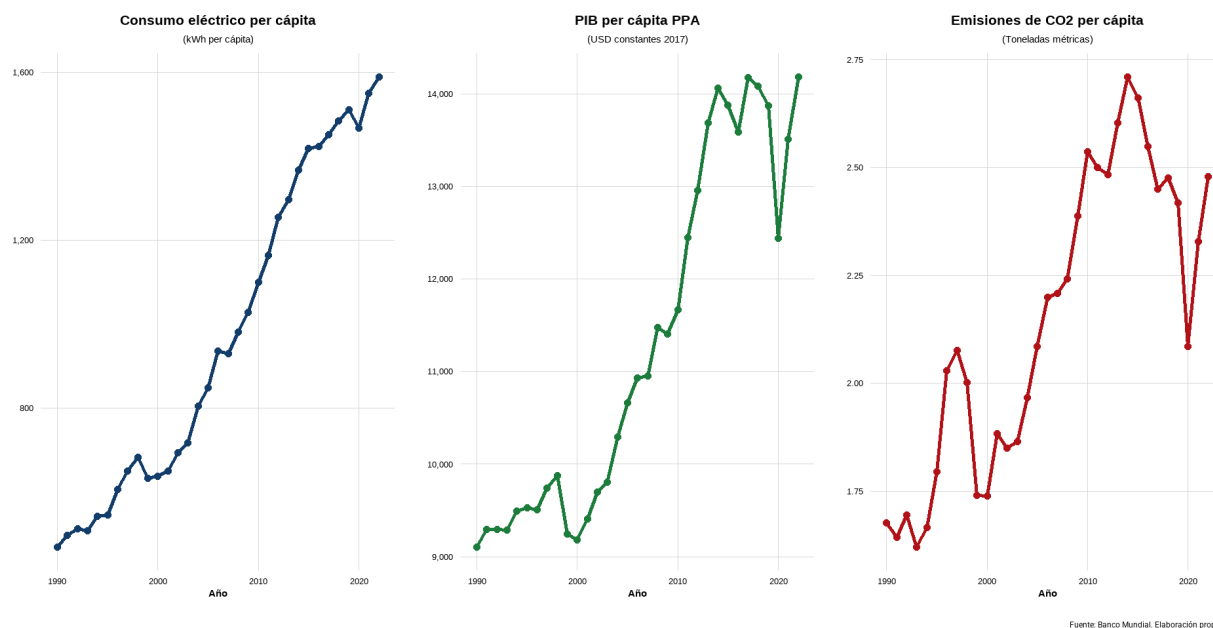
Este enfoque permite obtener proyecciones coherentes, dinámicamente consistentes y estadísticamente fundamentadas del consumo eléctrico per cápita para Ecuador hasta el 2026.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La evolución temporal del consumo de electricidad per cápita, el PIB per cápita (PPA) y las emisiones de CO₂ per cápita en Ecuador durante el período 1990-2022 se presentan a continuación en la Figura 1.

Figura 1

Evolución de las variables macroeconómicas y energéticas en Ecuador, 1990-2022



Autor (2026)

En términos generales, las tres variables muestran una tendencia creciente de largo plazo, consistente con el proceso de expansión económica y aumento de la demanda energética observada en el Ecuador.

La Tabla 1 presenta las estadísticas descriptivas de las variables.

Tabla 1

Estadísticas descriptivas de las variables en niveles

Variable	Media	Desv_Est	Min	Max
Consumo eléctrico per cápita (kWh)	968.34	381.30	469.56	1589.27
PIB per cápita (PPA 2017 USD)	11,457.38	1,968.95	9,104.82	14,343.02
CO ₂ per cápita (t CO ₂ e)	2.17	0.35	1.62	2.71

Autor (2026)

El consumo eléctrico per cápita registra una media de 968.34 kWh por habitante, con un máximo 1589.27 kWh, evidenciando una expansión sostenida de la demanda energética asociada al crecimiento económico, la urbanización y la ampliación de cobertura eléctrica en Ecuador. La desviación estándar de 381.30 refleja una variabilidad considerable en el comportamiento temporal del consumo.

El PIB per cápita en términos de paridad de poder adquisitivo presenta un promedio de USD 11,457.38 constantes de 2017, mostrando una dinámica de crecimiento relativamente estable, aunque influenciada por fluctuaciones del ciclo económico, cambios estructurales y shocks externos.

Por su parte, las emisiones de CO₂ per cápita alcanzaron una media de 2.17 toneladas métricas por habitante, con menor dispersión relativa respecto a las demás variables, sugiriendo una trayectoria más estable en la intensidad de carbono de la economía ecuatoriana.

De manera preliminar a la estimación econométrica, se evaluó la presencia de raíces unitarias mediante pruebas de Dickey-Fuller Aumentadas (ADF) incorporando intercepto, tendencia determinística y selección óptima de rezagos mediante criterio AIC.

Tabla 2

Pruebas Dickey-Fuller aumentadas (ADF)

Variable	Estadístico Tau	Valor crítico (1%)	Valor crítico (5%)	Valor crítico (10%)	Rezagos (AIC)	Decisión
Ln_energy	-1.7087	-4.15	-3.50	-3.18	1	No estacionaria
Ln_gdp	-2.2173	-4.15	-3.50	-3.18	1	No estacionaria
Ln_co2	-2.5433	-4.15	-3.50	-3.18	1	No estacionaria

Autor (2026)

Los estadísticos estimados son superiores en valor absoluto a los valores críticos al 5% por lo que no se rechaza la hipótesis nula de raíz unitaria para ninguna de las variables analizadas. En consecuencia, las series presentan comportamiento no estacionario en niveles y exhiben características compatibles con procesos integrados de orden uno I(1).

La literatura empírica sobre consumo energético y crecimiento económico ha documentado consistentemente la presencia de no estacionariedad en variable macroeconómicas agregadas (Stern, 2000; Payne, 2010; Ozturk, 2010). Desde una perspectiva económica, este resultado implica que shocks sobre el consumo eléctrico, el ingreso o las emisiones poseen efectos persistentes en el tiempo, afectando permanentemente la trayectoria de las variables.

Considerando que las variables son no estacionarias, se procede a evaluar la existencia de relaciones de equilibrio de largo plazo mediante el procedimiento de Engle y Granger (1987). Los resultados obtenidos se resumen en la Tabla 3.

Tabla 3

Test de cointegración Engle-Granger (residuos)

Estadístico Tau	Valor crítico 1%	Valor Crítico 5%	Valor Crítico 10%	Rezagos	Decisión
-2.5984	-2.62	-1.95	-1.61	1	Existe cointegración

Autor (2026)

La prueba de cointegración de Engle-Granger evidencia que los residuos de la relación de largo plazo son estacionarios, confirmando la existencia de cointegración entre el consumo eléctrico, el PIB per cápita y las emisiones de CO₂. Este resultado indica que las variables comparten una relación de equilibrio de largo plazo, preservando una dinámica común. Con base en esta evidencia y consistente con la estrategia econométrica planteada, se procede a comparar diferentes especificaciones del modelo ARIMAX, con el propósito de identificar el mejor equilibrio entre calidad de ajuste, parsimonia y capacidad predictiva. La Tabla 4 presenta la comparación de modelos ARIMAX candidatos.

Tabla 4

Comparación de modelos ARIMAX candidatos

Modelo	AIC	AICc	BIC
ARIMAX (1,0,0)	-100.32	-97.71	-93.48
ARIMAX (1,0,1)	-98.72	-94.90	-90.51
ARIMAX (1,0,2)	-104.19	-98.85	-94.61
ARIMAX (2,0,2)	-100.26	-93.06	-89.32

Autor (2026)

La especificación ARIMAX (1,0,2) fue seleccionada mediante un procedimiento comparativo entre especificaciones alternativas, considerando criterios de información Akaike (AIC), Akaike corregido (AICc) y Bayesiano (BIC), este modelo presentó el mejor equilibrio entre calidad de ajuste y parsimonia.

El modelo final seleccionado incorpora un componente autorregresivo de orden uno, dos términos de medias móviles y regresores exógenos asociados al PIB per cápita y las emisiones de CO₂ permitiendo representar simultáneamente la dependencia temporal del consumo eléctrico y la influencia contemporánea de sus principales determinantes macroeconómicos.

Con el fin de evaluar la capacidad predictiva del modelo seleccionado, se realizó una validación fuera de muestra utilizando el período 2019-2022, mientras que la estimación se efectuó con información correspondiente a 1990-2018. Los resultados se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5

Validación fuera de muestra

Período	RMSE
2019-2022	0.10827

Autor (2026)

El valor de RMSE = 0.10827 indica que el error promedio de predicción, medido en logaritmos naturales, es relativamente reducido para el período de evaluación. Este resultado evidencia que el modelo mantiene una adecuada capacidad predictiva sobre observaciones no utilizadas durante la estimación, lo que constituye evidencia favorable de su capacidad de generalización y sugiere ausencia de problemas importantes de sobreajuste (*overfitting*). En conjunto, estos resultados respaldan la utilización del modelo ARIMAX(1,0,2) como herramienta para el *forecasting* del consumo eléctrico per cápita en Ecuador.

Desde un enfoque económico, la estabilidad predictiva observada durante 2019-2022 resulta particularmente relevante debido a que en este período incorpora episodios de elevada volatilidad macroeconómica y alteraciones estructurales asociados a los efectos posteriores a la pandemia, fluctuaciones en la actividad económica y cambios en la demanda energética. A pesar de este entorno adverso, el modelo mantiene precisión razonable en los pronósticos, respaldando su utilidad como herramienta de forecasting energético y planificación de demanda eléctrica en Ecuador.

Este hallazgo resulta consistente con evidencia empírica previa en el país como el realizado por Chong y Aguilar (2016), en donde concluyen que los enfoques de series temporales permiten obtener elevados niveles de ajuste y precisión predictiva para horizontes de mediano plazo, de manera similar Suntaxi et al. (2019) realizan una investigación aplicada al sistema eléctrico Quito utilizando metodología Box-Jenkins evidenciando que los modelos autorregresivos proporcionan mejores capacidades predictivas respecto a enfoques determinísticos tradicionales, por lo que sugieren que son herramientas relevantes para la planificación de infraestructura y expansión de capacidad eléctrica.

En la Tabla 6 se muestran los resultados de la estimación del modelo ARIMAX, podemos evidenciar una elevada persistencia temporal del consumo eléctrico, especificado por el coeficiente autorregresivo cercano a la unidad (0.9905). Este comportamiento confirma que la dinámica energética ecuatoriana presenta una fuerte dependencia de su trayectoria histórica.

Tabla 6*Estimación del modelo ARIMAX*

Parámetro	Coefficiente	Error estándar
AR(1)	0.9905	0.0130
MA(1)	0.2948	0.1471
MA(2)	0.6119	0.1541
intercepto	2.2858	1.4485
ln_gdp	0.4616	0.1535
ln_co2	0.1980	0.1008

Autor (2026)

En consecuencia, podemos representar la ecuación estimada de la siguiente forma:

$$\ln(E_t) = 2.2858 + 0.9905 \ln(E_{t-1}) + 0.4616 \ln(Y_{t-1}) + 0.1980 \ln(C_t) + 0.2948 \varepsilon_{t-1} + 0.6119 \varepsilon_{t-2} + \varepsilon_t$$

Por otro lado, el coeficiente del PIB per cápita indica que un incremento de 1% en el ingreso se asocia, en promedio, con un aumento aproximado de 0,46% en el consumo eléctrico per cápita, manteniendo constantes las demás variables.

Asimismo, las emisiones de CO₂ presentan una elasticidad positiva de 0,198 lo que sugiere que incrementos en la intensidad de carbono de la economía se relacionan con mayores niveles de consumo energético.

La elasticidad ingreso estimada es coherente con la literatura internacional, que documenta elasticidades positivas en economías en desarrollo, aunque con magnitudes inferiores a la unidad, reflejando mejoras progresivas en eficiencia energética (Stern, 2011; Apergis y Payne, 2012).

La elevada persistencia temporal observada en el parámetro autorregresivo confirma que el consumo eléctrico presenta inercia estructural, característica típica de la demanda energética agregada debido a rigideces tecnológicas, infraestructura instalada y patrones de consumo consolidados. Desde una perspectiva económica, este resultado confirma la estrecha relación entre el crecimiento económico y expansión de la demanda energética en Ecuador. El incremento de los niveles de ingreso suele traducirse en mayores requerimientos de electricidad derivados del aumento del consumo de bienes durables, expansión industrial, urbanización y profundización de actividades productivas intensivas en energía. Sin embargo, el hecho de que la elasticidad sea menor que la unidad sugiere una relación inelástica, indicando que el crecimiento económico generar aumentos proporcionales menores en el consumo eléctrico, posiblemente asociados a mejoras graduales en eficiencia energética y cambios tecnológicos.

Tabla 7*Principales medidas de desempeño estadístico del modelo estimado*

Medida	Valor
Log-Likelihood	64.1392
AIC	-114.2784
AICc	-109.7984
BIC	-103.8029
RMSE	0.0315
MAE	0.0266
MAPE(%)	0.3943
Sigma ²	0.0012
ACF1 residuos	-0.2297

Autor (2026)

Los criterios de información reportados en esta sección difieren de los presentados en la Tabla 4 debido a que corresponden a la reestimación del modelo ARIMAX (1,0,2) utilizando la muestra completa (1990-2022), una vez concluido el proceso de selección y validación fuera de muestra. En contraste, la Tabla 4 presenta los criterios empleados únicamente durante la etapa de comparación de especificaciones sobre la muestra de entrenamiento (1990-2018).

Los indicadores obtenidos evidencian un elevado nivel de ajuste y una adecuada capacidad predictiva. Particularmente, el bajo MAPE confirma que el modelo reproduce satisfactoriamente la dinámica observada del consumo eléctrico per cápita. Por otro lado, para la validación de la correcta especificación dinámica del modelo ARIMAX se realizó la prueba Ljung-Box, la cual evalúa la hipótesis nula de ausencia de autocorrelación serial en los residuos. Se aplicaron dos versiones de la prueba, la ajustada por grados de libertad efectivos, y la versión estándar sin ajuste manual.

Tabla 8

Diagnóstico de autocorrelación (Ljung-Box)

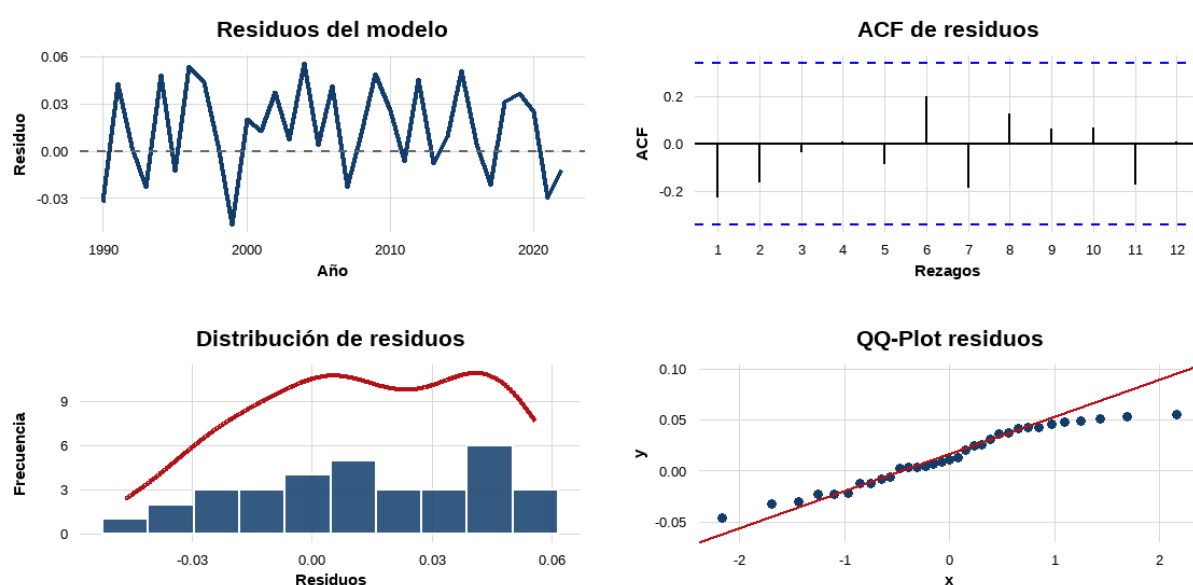
Especificación	Rezagos	Estadístico Q	gl	p-valor	Conclusión
Estándar	4	2.9610	4	0.5644	No rechaza H_0
Ajustada	4	2.9610	1	0.0853	No rechaza H_0
Estándar	6	4.9671	6	0.5480	No rechaza H_0
Ajustada	6	4.9671	3	0.1742	No rechaza H_0
Estándar	8	7.2712	8	0.5077	No rechaza H_0
Ajustada	8	7.2712	5	0.2012	No rechaza H_0
Estándar	10	7.6793	10	0.6601	No rechaza H_0
Ajustada	10	7.6793	7	0.3617	No rechaza H_0

Autor (2026)

En la Tabla 8 se presentan los resultados de la Prueba de Ljung-Box de autocorrelación residual, los resultados indican ausencia de autocorrelación serial significativa en los residuos, confirmando la adecuada especificación dinámica del modelo.

Figura 2

Diagnóstico integral de residuos del modelo ARIMAX (1,0,2)



Fuente: Elaboración propia.

Autor (2026)

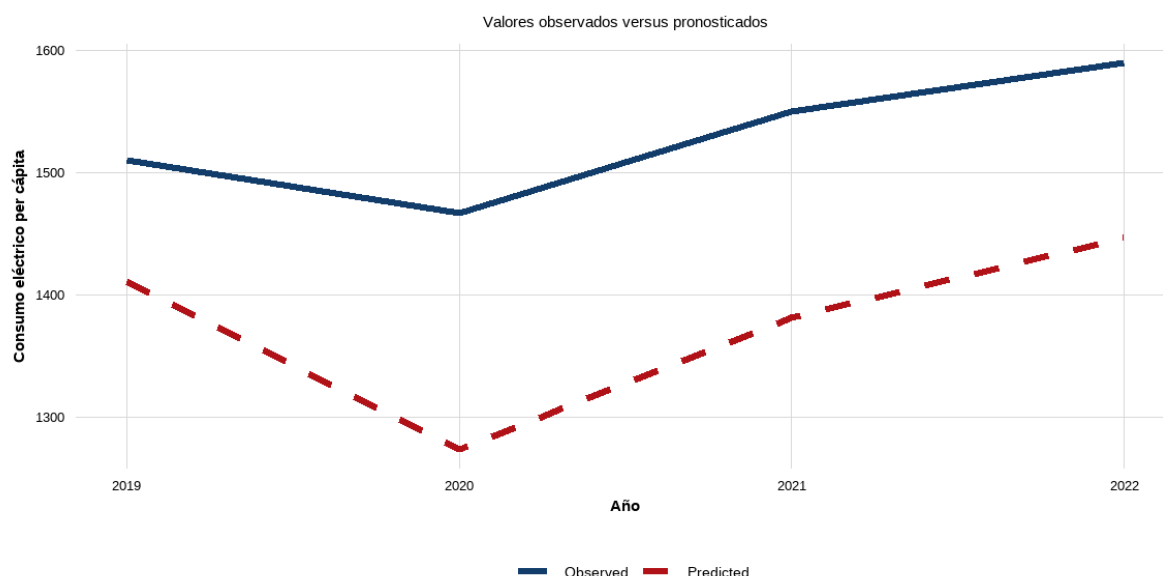
La Figura 2 presenta el diagnóstico residual del modelo ARIMAX (1,0,2) sugiere que la especificación seleccionada presenta un comportamiento estadísticamente adecuado y consistente con los supuestos clásicos de un modelo de series temporales bien ajustado.

En primer lugar, la serie de residuos oscila alrededor de cero sin mostrar tendencias sistemáticas ni patrones persistentes visibles, lo que indica que el modelo captura adecuadamente la dinámica temporal del consumo eléctrico per cápita, por otro lado la función de autocorrelación (ACF) de los residuos no evidencia correlaciones seriales significativas en los distintos rezagos evaluados, reforzando la hipótesis de comportamiento tipo ruido blanco.

La distribución de los residuos presenta una forma aproximadamente simétrica y cercana a la normalidad, mientras que el gráfico Q-Q muestra que la mayor parte de las observaciones se alinean razonablemente con la distribución teórica normal, sin desviaciones severas en las colas, adicionalmente el test de Jarque-Bera reporta un estadística de 1.8918 y un valor-p de 0.4082, superior al nivel de significancia convencional del 5%, en consecuencia no se rechaza la hipótesis nula de normalidad de los residuos, lo que sugiere ausencia de problemas importantes de asimetría o curtosis excesiva.

Figura 3

Comparación gráfica entre valores observados y predichos fuera de muestra (2019-2022)



Autor (2026)

La Figura 3 muestra la validación fuera de muestra del modelo ARIMAX(1,0,2) para el período 2019-2022, comparando los valores observados y pronosticados del consumo eléctrico per cápita en Ecuador. En términos generales, el modelo reproduce adecuadamente la trayectoria y tendencia temporal de la serie, capturando correctamente la caída observada en 2020 y la posterior recuperación del consumo eléctrico en los años siguientes.

No obstante, se evidencia una subestimación sistemática de los niveles observados, particularmente durante 2021 y 2022, donde las diferencias entre valores reales y pronosticados se amplían moderadamente. Este comportamiento puede asociarse a shocks extraordinarios y cambios estructurales posteriores a la pandemia, los cuales incrementaron la volatilidad macroeconómica y energética del período analizado.

A pesar de ello, el modelo mantiene coherencia dinámica y estabilidad predictiva, evidenciando capacidad para capturar el comportamiento general de la demanda eléctrica. En este sentido, los resultados del forecasting fuera de muestra respaldan la utilidad del modelo ARIMAX como herramienta de proyección energética de mediano plazo para Ecuador.

Tabla 9

Pronóstico del consumo eléctrico per cápita

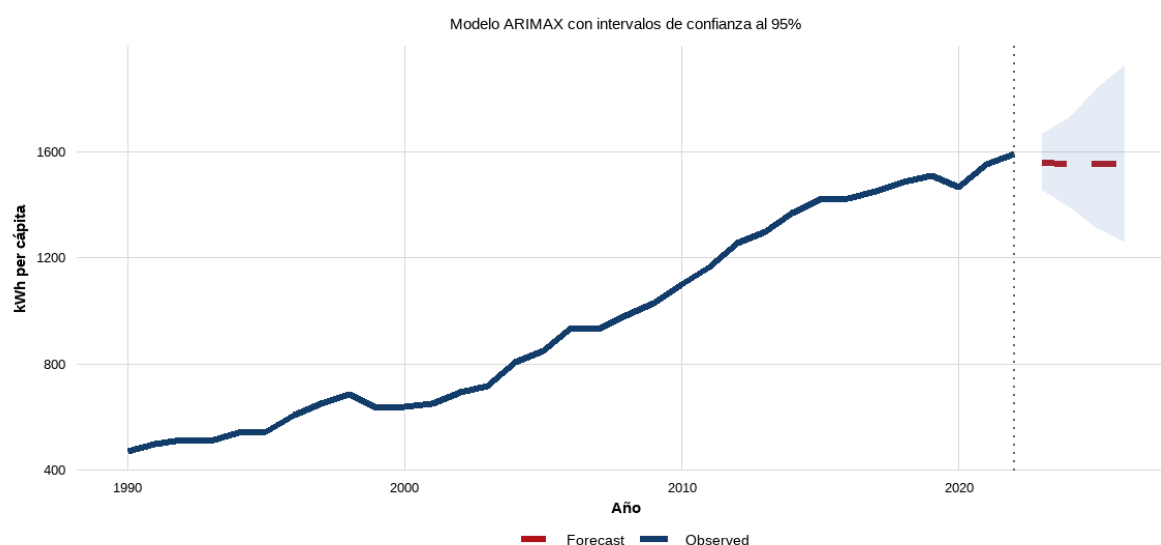
Año	Pronóstico	Límite inferior 95%	Límite superior 95%
2023	1557.739	1454.860	1667.894
2024	1549.610	1386.435	1731.990
2025	1552.830	1309.807	1840.942
2026	1556.120	1257.966	1924.939

Autor (2026)

La Tabla 9 muestra las proyecciones con una relativa estabilización del consumo eléctrico per cápita hacia el horizonte 2026, aunque acompañada de una aplicación progresiva de los intervalos de confianza, reflejando el incremento natural de la incertidumbre predictiva conforme aumenta el horizonte temporal. La Figura 4 muestra el forecasting del consumo de electricidad per cápita

Figura 4

Forecasting de consumo de electricidad per cápita en Ecuador (1990-2026)



Autor (2026)

Desde una perspectiva económica, los resultados sugieren que la demanda eléctrica ecuatoriana continua altamente condicionada por la dinámica del crecimiento económico y por la evolución estructural de la intensidad energética y ambiental del sistema productivo nacional.

Futuras investigaciones podrían ampliar el análisis mediante el uso de información con mayor frecuencia temporal, con datos mensuales o trimestrales, así como la incorporación de variables territoriales, climáticas e institucionales que permitan capturar dinámicas de corto plazo, efectos de heterogeneidad espacial y mecanismos de transmisión asociados a perturbaciones macroeconómicas y energéticas. Asimismo, la aplicación de enfoques de econometría espacial, modelos climáticos y técnicas de ciencias de datos contribuiría a fortalecer la capacidad explicativa y predictiva del modelo, especialmente en contexto de monitoreo coyuntural, planificación energética y evaluación de resiliencia económica.

CONCLUSIONES

El presente estudio analizó la dinámica del consumo eléctrico per cápita en Ecuador durante el período 1990-2022 mediante un modelo ARIMAX con variables exógenas asociadas al PIB per cápita y las emisiones de CO₂. Los resultados econométricos evidencian que las series presentan un comportamiento no estacionario en niveles y son compatibles con procesos integrados de orden uno I(1). No obstante, la prueba de cointegración de Engle-Granger confirma la existencia de una relación de equilibrio de largo plazo entre las variables analizadas, justificando la estimación del modelo en niveles y preservando la información estructural de largo plazo del sistema energético ecuatoriano.

La especificación ARIMAX(1,0,2) fue seleccionada como modelo óptimo debido a que presentó los menores criterios de información AIC, AICc y BIC entre las especificaciones evaluadas, además de mostrar adecuada capacidad predictiva fuera de muestra. Los resultados indican que el consumo eléctrico per cápita exhibe elevada persistencia temporal, reflejando una fuerte dependencia de su trayectoria histórica. De igual manera, el PIB per cápita presenta una elasticidad positiva y estadísticamente relevante, confirmando la estrecha relación entre crecimiento económico y demanda energética. De manera complementaria, las emisiones de CO₂ también muestran una asociación positiva con el consumo eléctrico, sugiriendo que la expansión energética continúa vinculada a procesos productivos intensivos en carbono.

La validación fuera de muestra para el período 2019-2022 evidencia un desempeño predictivo satisfactorio, incluso bajo un contexto de elevada volatilidad macroeconómica posterior a la pandemia.

Adicionalmente, las pruebas de diagnóstico residual, incluyendo Ljung-Box, ACF residual y Jarque-Bera, confirman una adecuada especificación dinámica del modelo y ausencia de problemas importantes de autocorrelación o no normalidad en los residuos.

Las proyecciones obtenidas hasta 2026 sugieren una relativa estabilización del consumo eléctrico per cápita en Ecuador, aunque acompañada de una ampliación gradual de los intervalos de confianza conforme aumenta el horizonte temporal. Desde una perspectiva económica y de política pública, los resultados indican que la evolución futura de la demanda eléctrica continuará altamente condicionada por la dinámica del crecimiento económico y por la estructura energética y ambiental del país.

En términos aplicados, los hallazgos respaldan la utilidad de los modelos ARIMAX como herramientas de forecasting energético para procesos de planificación eléctrica, expansión de infraestructura y evaluación de políticas energéticas en economías emergentes. No obstante, la frecuencia anual de los datos limita la capacidad para capturar dinámicas de corto plazo y shocks transitorios. Futuras investigaciones podrían incorporar información trimestral o mensual, así como modelos multivariados de corrección de errores y enfoques híbridos con técnicas de ciencia de datos, con el objetivo de fortalecer la precisión predictiva y el análisis estructural del consumo energético en Ecuador.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Apergis, N., y Payne, J. E. (2009). Energy consumption and economic growth in Central America: evidence from a panel cointegration and error correction model. *Energy economics*, 31(2), 211-216. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2008.09.002>
- Apergis, N., y Payne, J. E. (2010). The causal dynamics between coal consumption and growth: Evidence from emerging market economies. *Applied Energy*, 87(6), 1972-1977. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.11.035>
- Apergis, N., y Payne, J. E. (2012). The electricity consumption-growth nexus: renewable versus non-renewable electricity in Central America. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 7(4), 423-431. <https://doi.org/10.1080/15567249.2011.639336>
- Box, G. E. P., y Jenkins, G. M. (1976). *Time series analysis: Forecasting and control*. Holden-Day.
- Box, G. E. P., Jenkins, G. M., Reinsel, G. C., y Ljung, G. M. (2015). *Time series analysis: Forecasting and control*. Wiley. <https://doi.org/10.1111/jtsa.12194>
- Burnham, K.P. y Anderson, D.R. (2002). *Model Selection and Inference: A Practical Information-Theoretic Approach*. Springer-Verlag. <http://dx.doi.org/10.1007/b97636>
- Chong Fuentes, M. A., y Aguilar, R. (2016). Proyección de Series de Tiempo para el Consumo de la Energía Eléctrica a Clientes Residenciales en Ecuador. *Revista Tecnológica - ESPOL*, 29(1). <https://rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/522>
- Contreras, J., Espinola, R., Nogales, F. J., y Conejo, A. J. (2003). ARIMA models to predict next-day electricity prices. *IEEE transactions on power systems*, 18(3), 1014-1020. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2002.804943>
- Enders, W. (2004). *Applied Econometric Time Series*. University of Alabama.
- Engle, R. F., y Granger, C. W. (1987). Co-integration and error correction: representation, estimation, and testing. *Econometrica: journal of the Econometric Society*, 251-276. <https://doi.org/10.2307/1913236>
- Granger, C. W. J., y Newbold, P. (1974). Spurious regressions in econometrics. *Journal of Econometrics*, 2(2), 111-120. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(74\)90034-7](https://doi.org/10.1016/0304-4076(74)90034-7)
- Hamilton, J. D. (1994). *Time series analysis*. Princeton University Press.
- Hidalgo Osorio, W. A., y Chuquin Vasco, D. A. (2024). Modelamiento del consumo eléctrico de los usuarios residenciales ante un posible confinamiento en el área de concesión de la empresa Eléctrica provincial Cotopaxi en el cantón Latacunga. *Revista multidisciplinaria de desarrollo agropecuario, tecnológico, empresarial y humanista*, 6(2), 18-18. <https://doi.org/10.61236/dateh.v6i2.929>
- Hyndman, R. J., y Athanasopoulos, G. (2021). *Forecasting: Principles and Practice*. OTexts. <https://otexts.com/fpp3/>
- Johansen, S. (1991). Estimation and hypothesis testing of cointegration vectors in Gaussian vector autoregressive models. *Econometrica: journal of the Econometric Society*, 1551-1580. <https://doi.org/10.2307/2938278>
- Korablyov, M., Kobzev, I., Chubukin, O., Antonov, D., Polous, V., y Tkachuk, O. (2024). *Comparative analysis of models for short-term forecasting of electricity consumption*. <https://openarchive.nure.ua/handle/document/29342>
- Kraft, J., y Kraft, A. (1978). On the Relationship Between Energy and GNP. *The Journal of Energy and Development*, 3(2), 401-403. <http://www.jstor.org/stable/24806805>
- Liu, L. M., y Lin, M. W. (1991). Forecasting residential consumption of natural gas using monthly and quarterly time series. *International Journal of Forecasting*, 7(1), 3-16. [https://doi.org/10.1016/0169-2070\(91\)90028-T](https://doi.org/10.1016/0169-2070(91)90028-T)
- Mendez-Santos, P. A., Chacón-Reino, N. A., Guerrero-Vásquez, L. F., Ordoñez-Ordoñez, J. O., y Chasi-Pesantez, P. A. (2025). Estimation and Forecasting of the Average Unit Cost of Energy Supply in a Distribution System Using Multiple Linear Regression and ARIMAX Modeling in Ecuador. *Energies*, 18(14), 3659. <https://doi.org/10.3390/en18143659>

- Ministerio de Energía y Minas (2023). *Plan Maestro de Electricidad (PME) 2023-2032* (2023). <https://www.ambienteyenergia.gob.ec/plan-maestro-de-electricidad/>
- Mohamed, Z., y Bodger, P. (2005). Forecasting electricity consumption in New Zealand using economic and demographic variables. *Energy*, 30(10), 1833-1843. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2004.08.012>
- Moslemi, Z., Clark, L., Kernal, S., Rehome, S., Sprengel, S., Tamizifar, A., Tuli, S., Chokshi, C., Nomeli, M., Liang, E., Bidgoli, M., Lu, J., Dasaur, M., y Hodgett, M. (2024). Comprehensive forecasting of California's energy consumption: A multi-source and sectoral analysis using ARIMA and ARIMAX models. *arXiv preprint arXiv:2402.04432*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2402.04432>
- Mustafa, A. T., y Al-Yozbaky, O. S. A. D. (2025). Forecasting energy demand and generation using time series models: A comparative analysis of classical, grey, fuzzy, and intelligent approaches. *Franklin Open*, 100350. <https://doi.org/10.1016/j.fraope.2025.100350>
- Ouedraogo, N. S. (2017). Africa energy future: Alternative scenarios and their implications for sustainable development strategies. *Energy Policy*, 106, 457-471. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.03.021>
- Ozturk, I. (2010). A literature survey on energy-growth nexus. *Energy policy*, 38(1), 340-349. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.09.024>
- Payne, J. E. (2010). A survey of the electricity consumption-growth literature. *Applied energy*, 87(3), 723-731. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.06.034>
- Pesaran, M. H., y Timmermann, A. (2005). Small sample properties of forecasts from autoregressive models under structural breaks. *Journal of Econometrics*, 129(1-2), 183-217. <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2004.09.007>
- Renteria, V., Toledo, E., Bravo-Benavides, D., y Ochoa-Jiménez, D. (2016). Relación entre emisiones contaminantes, crecimiento económico y consumo de energía. El caso de Ecuador 1971-2010. *Revista politécnica*, 38(1). <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=688773643011>
- Stern, D. I. (1993). Energy and economic growth in the USA: a multivariate approach. *Energy economics*, 15(2), 137-150. [https://doi.org/10.1016/0140-9883\(93\)90033-N](https://doi.org/10.1016/0140-9883(93)90033-N)
- Stern, D. I. (2000). A multivariate cointegration analysis of the role of energy in the US macroeconomy. *Energy economics*, 22(2), 267-283. [https://doi.org/10.1016/S0140-9883\(99\)00028-6](https://doi.org/10.1016/S0140-9883(99)00028-6)
- Stern, D. I. (2004). The rise and fall of the environmental Kuznets curve. *World development*, 32(8), 1419-1439. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2004.03.004>
- Stern, D. I. (2011). *The role of energy in economic growth*. CCEP working paper 3.10. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.249380>
- Suntaxi, J., Salazar, Y., y Loor, R. (2019). Pronóstico de la demanda en energía y potencia del Sistema Eléctrico Quito. *Revista Técnica energía*, 15(2), 12-21. <https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v15.n2.2019.371>
- Warr, B., Ayres, R., Eisenmenger, N., Krausmann, F., y Schandl, H. (2010). Energy use and economic development: A comparative analysis of useful work supply in Austria, Japan, the United Kingdom and the US during 100 years of economic growth. *Ecological Economics*, 69(10), 1904-1917. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.03.021>

INFORMACIÓN ADICIONAL

Códigos JEL: C22, Q41, Q43, C53, C51w