

**Correlación entre las Tarifas de Energía Eléctrica en Colombia y Factores
Económicos como el IPC, IPP y Relación entre el consumo de electricidad y el
crecimiento económico (2016 – 2023)**

Robinson Rojas Valderrama

Trabajo de grado

Maestría en Economía Aplicada

Asesor:

Ph.D. John Jairo García Rendón



Universidad EAFIT

Escuela de Finanzas, Economía y Gobierno

Maestría en economía aplicada

Medellín

2025

Resumen

El presente documento analiza la correlación entre las tarifas de energía eléctrica en Colombia y factores económicos clave como el Índice de Precios al Consumidor (IPC), el Índice de Precios al Productor (IPP) y el crecimiento económico medido a través del Producto Interno Bruto (PIB) durante el período 2016-2023. La investigación se basa en un enfoque cuantitativo que emplea técnicas de análisis de series de tiempo, incluyendo pruebas de estacionariedad, cointegración y modelos de corrección de errores (VEC), con el fin de identificar patrones de relación y causalidad entre las variables.

Los resultados muestran que existe una relación significativa entre el costo unitario de la energía eléctrica y los índices de precios, evidenciándose un impacto directo de la inflación sobre las tarifas eléctricas. Se observa que el comportamiento de las tarifas está influenciado principalmente por las dinámicas del IPP e IPC, lo que genera un efecto de retroalimentación en la economía colombiana, afectando tanto a los hogares como al sector productivo. Asimismo, se identificó una correlación positiva entre el crecimiento del PIB y el consumo de energía, destacando que el incremento en la actividad económica impulsa la demanda energética, lo que a su vez impacta los precios.

Abstract

This paper analyzes the correlation between electricity tariffs in Colombia and key economic factors such as the Consumer Price Index (CPI), the Producer Price Index (PPI) and economic growth measured through the Gross Domestic Product (GDP) during the period 2016-2023. The research is based on a quantitative approach employing time series analysis techniques, including stationarity tests, cointegration and error correction (VEC) models, in order to identify patterns of relationship and causality between the variables.

The results show that there is a significant relationship between the unit cost of electricity and the price indexes, evidencing a direct impact of inflation on electricity tariffs. It is observed that the behavior of tariffs is mainly influenced by the dynamics of the PPI and CPI, which generates a feedback effect in the Colombian economy, affecting both households and the productive sector. Likewise, a positive correlation between GDP growth and energy consumption was identified, highlighting that the increase in economic activity drives energy demand, which in turn impacts prices.

Key words: electricity tariffs, CPI, PPI, GDP, cointegration, Colombia.

Tabla de Contenido

Introducción	6
1. Planteamiento Del Problema.....	7
2. Justificación.....	17
3. Objetivos	19
3.1 Objetivo General	19
3.2 Objetivos Específicos.....	19
4. Marco Teórico	20
5. Antecedentes	25
6. Metodología	29
7. Resultados	34
8. Conclusiones	54
9. Bibliografía Y Fuentes De Información.....	55

Listado De Imágenes

Imagen:1	Demanda anual de energía (MWh) 2016 –2023	8
Imagen:2	Promedio del precio de la tarifa por estrato (2016 – 2023).....	9
Imagen:3	Promedio del CU Vs IPC (2016-2023)	11
Imagen:4	Promedio del CU Vs IPP (2020-2023).....	11
Imagen:5	Variación anual del IPC sector energía.	13
Imagen:6	Variación anual del PIB.	16
Imagen:7	Precio promedio de los contratos del mercado eléctrico con demanda comercial en cuestión del PIB. 16	
Imagen:8	Evolución PIB versus demanda de energía	23
Imagen:9	Evolución de los precios de la energía e índices de precios.....	36
Imagen:10	Tasas de crecimiento de los índices de precios y del precio de la energía eléctrica. 37	
Imagen:11	Diagramas de caja para las tasas de crecimiento de las series	39
Imagen:12	Primera diferencia de las tasas de crecimiento de los índices de precio y del precio de la energía eléctrica.....	44
Imagen:13	Tasas de crecimiento de la demanda de energía eléctrica (regulada y no regulada) y del PIB. 51	
Imagen:14	Tasas de crecimiento del PIB en función del crecimiento de la demanda no regulada (panel derecho) y la regulada (panel izquierdo).....	52
Imagen:15	Aproximación no lineal para Tasas de crecimiento del PIB en función del crecimiento de la demanda no regulada (panel derecho) y la regulada (panel izquierdo)	53

Listado de Tablas

Listado De Imágenes	4
Tabla. 1. Estadísticas descriptivas de las series.	35
Tabla 2. Prueba de hipótesis de raíces unitarias para las series originales y sus tasas de crecimiento.....	40
Tabla 3. Resultados de las pruebas de cointegración de Johansen.....	41
Tabla 4. Resultados VEC1 dg_IPC vs dg_CU.....	42
Tabla 5. Resultados VEC2 dgIPC_e vs dg_CU.....	46
Tabla 6. Resultados VEC3 dg_IPP vs dg_CU.....	48
Tabla 7. P valores pruebas de hipótesis para los errores de los modelos VEC.....	50
Tabla 8. Estadísticos descriptivos para las tasas de crecimiento trimestral del PIB (gpib), demanda no regulada (gn_regulado) y demanda regulada (g_regulado).....	51

Introducción

El sector energético es un pilar fundamental para el desarrollo económico y social de cualquier país, ya que influye directamente en la competitividad empresarial, el bienestar de los hogares y el crecimiento económico en general. En Colombia, el costo de la energía eléctrica ha sido objeto de constante análisis por su impacto en la economía y su relación con variables macroeconómicas clave como el Índice de Precios al Consumidor (IPC), el Índice de Precios al Productor (IPP) y el Producto Interno Bruto (PIB). A lo largo de los años, la estructura tarifaria del sector eléctrico ha evolucionado, influenciada por factores regulatorios, económicos y sociales, lo que ha generado desafíos en términos de asequibilidad, competitividad y estabilidad del servicio.

Este trabajo de grado tiene como objetivo analizar la correlación entre las tarifas de energía eléctrica y los factores económicos mencionados, en el período comprendido entre 2016 y 2023. Se parte de la hipótesis de que la variabilidad en el costo unitario de la energía eléctrica está vinculada tanto a la dinámica inflacionaria representada por el IPC y el IPP, así como a la evolución del crecimiento económico del país. La metodología empleada se basa en un análisis cuantitativo utilizando modelos econométricos de series de tiempo, como pruebas de estacionariedad, cointegración y modelos de corrección de errores (VEC), que permitieron examinar tanto relaciones de largo plazo como efectos dinámicos entre las variables estudiadas. Los resultados validan la influencia de los factores económicos sobre las tarifas de energía eléctrica y su efecto en la economía colombiana.

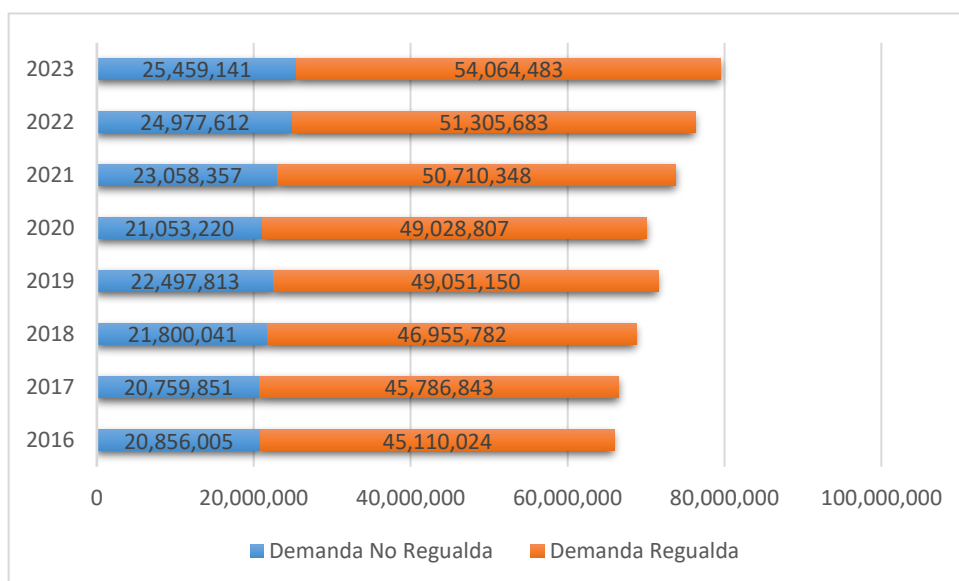
1. Planteamiento Del Problema

Previo a 1991 la provisión de los servicios públicos domiciliarios (Acueducto, alcantarillado, electricidad y telecomunicaciones) era función monopólica del estado. La Constitución Política de Colombia de 1991 estableció que los servicios públicos se consideraran inherentes a la finalidad del estado, debiéndose brindar con criterios de igualdad y solidaridad. Fue este hito el que sentó las bases fundamentales para la participación de los privados en la prestación de los servicios públicos.

Para el caso particular del suministro de energía eléctrica se democratizaron (permitió la participación de la empresa privada) las actividades de Generación de energía, Transmisión-Distribución, y comercialización de energía. Negocios que fueron regulados mediante la ley 142 y 143 de 1994. Adicionalmente esta norma tipificó los usuarios del servicio públicos domiciliario de energía eléctrica de acuerdo con su volumen de consumo: usuarios que consumen menos de 55 MWh en el mes son regulados (UR), los que superen el anterior tope de consumo o cuya demanda máxima de potencia supere los 0.1 MW son Usuarios No Regulados (UNR).

Una diferenciación adicional entre los Usuarios Regulados y No Regulados es que estos últimos tienen la posibilidad de negociar con su comercializador de energía 2 de las 6 componentes que integran la tarifa (Costo Unitario), siendo estas componentes la Generación y Comercialización. Por su parte, para los Usuarios Regulados su tarifa está reglamentada por la Comisión de Regulación de Energía y Gas – CREG (ver resolución CREG 119 de 2007 y 191 de 2014) y la componen los cargos de: generación (G), transmisión (T), distribución (D), comercialización (C), pérdidas (PR) y restricciones del sistema (R).

La distribución de la demanda de acuerdo con el tipo de usuario data que el mercado regulado ha sido históricamente más alto que el no regulado, lo cual es esperable, dado que incluye a la mayoría de los consumidores residenciales y pequeños negocios. Sin embargo, en la imagen 1 se observa un crecimiento significativo en la demanda del mercado no regulado, que pasó de 20,856,005 megavatios en 2016 a 25,459,141 megavatios en 2023, un aumento del 22%. El mercado No Regulado incluye a los grandes consumidores industriales y comerciales, y su crecimiento sugiere una expansión de la actividad económica en sectores clave, como el industrial y comercial, durante los años analizados.

Imagen:1 Demanda anual de energía (MWh) 2016 –2023

Fuente: Elaboración propia. Portal web sinergox.xm.com.co

Ahora bien, de acuerdo con la imagen 1, la demanda total de energía ha mostrado un crecimiento constante entre 2016 y 2023. Pasó de 65,966,029 megavatios en 2016 a 79.523.624 megavatios en 2023, lo que representa un aumento del 21%. Este crecimiento refleja un aumento en el consumo de energía tanto en el mercado regulado como en el no regulado.

Respecto al desempeño de la demanda de energía a la evolución de la economía colombiana, se encuentra que durante varios años del periodo en referencia de la economía nacional creció al igual que lo hizo el consumo energético tanto del sector industrial como residencial. Sin embargo, en el año 2020 fue atípico por la pandemia que afectó severamente la economía, a pesar de esto, la demanda de energía no cayó drásticamente, de hecho, ya en el 2021 se evidencia un repunte en la demanda. Ya en el periodo de la “post-pandemia” la demanda energética muestra un aumento significativo en ambos mercados (regulado y no regulado).

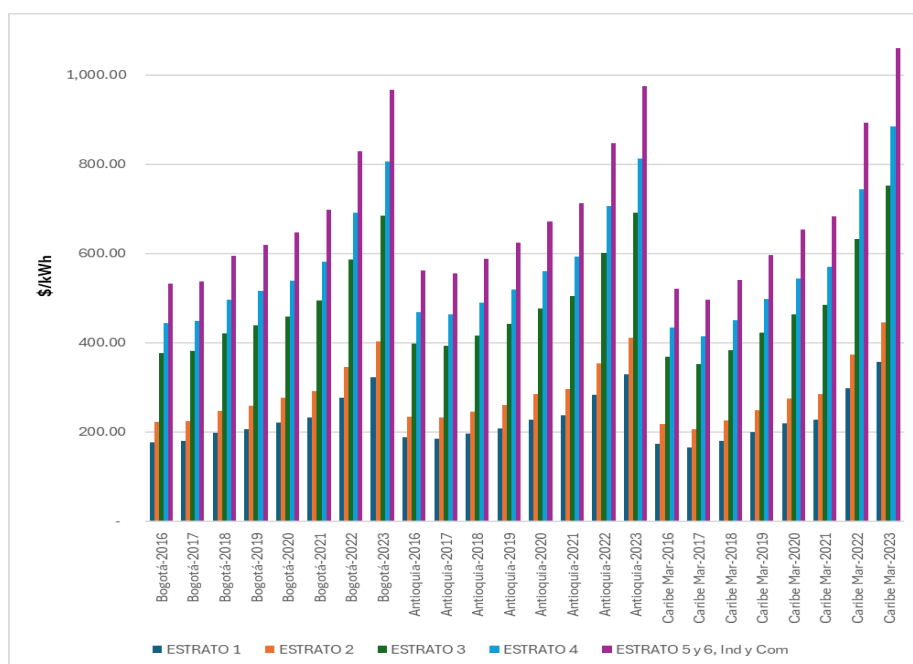
El servicio de energía eléctrica en Colombia no es gratuito para la población, en efecto, cada hogar debe pagar una tarifa en función del consumo registrado cada mes y del estrato socioeconómico de su vivienda. La metodología para el cálculo del CU es definida por medio de la resolución CREG 119 de 2007 y actualmente, la 012 del 2020.

Según José Camilo Manzur, director ejecutivo de la Asociación Colombiana de Distribuidores de Energía Eléctrica (Asocodis), el aumento en el costo de generación de

energía, así como los gastos asociados a la transmisión, distribución y comercialización, han contribuido consigo al incremento en las tarifas eléctricas. Además, factores como las restricciones y transporte de energía eléctrica también han influido en el incremento de las tarifas (Colprensa, 2022).

La tarifa de energía eléctrica es el resultado de aplicar al Costo Unitario de Prestación del Servicio, los principios del Fondo de Solidaridad para Subsidios y Redistribución de Ingreso (FSSRI) donde dependiendo del estrato socioeconómico se aplica un subsidio o una contribución. Como resultado, los usuarios de los estratos 1, 2 y 3 (usuarios de menores ingresos), reciben subsidios por concepto del FSSRI de hasta el 60%, 50% y hasta 15% respectivamente, sobre el CU, aplicables al denominado Consumo de Subsistencia (CS). Por su parte, los usuarios del estrato 4 pagan el valor equivalente al CU (no reciben subsidio ni subsidian). Los usuarios de los estratos 5 y 6 (usuarios residenciales de mayores ingresos), así como los usuarios pertenecientes al sector comercial e industrial, pagan una contribución del 20% sobre el CU, con destino a cubrir los subsidios otorgados a los usuarios de los estratos 1, 2 y 3.

Imagen:2 Promedio del precio de la tarifa por estrato (2016 – 2023).



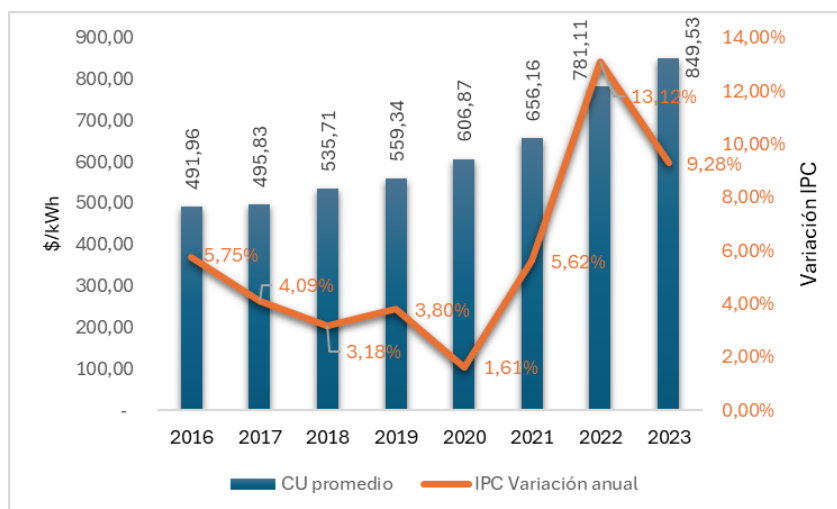
Fuente: Elaboración propia, información de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios.

La imagen 2, presenta el promedio de los diferentes estratos socioeconómicos de estos tres mercados con mayor participación en el país para los años 2016 a 2023, en donde

reflejan el incremento gradual en los precios a lo largo de los años en cada estrato. En general, se observa un aumento en los costos de energía en todas las regiones y estratos a medida que pasan los años. Por ejemplo, en Antioquia, el costo para el Estrato 1 aumenta de 187.40 COP en 2016 a 328.53 COP en 2023, mostrando una tendencia al alza similar en los otros estratos. Lo mismo ocurre en Caribe Mar y Bogotá, donde los costos también incrementan de manera considerable entre los años 2016 y 2023. Los estratos más altos (Estratos 5 y 6, sectores industriales y comerciales) tienen tarifas notablemente más altas en comparación con los estratos bajos (1 y 2). Esto refleja la estructura tarifaria diferenciada por estratos que existe en Colombia, en la que los estratos más altos y las empresas pagan tarifas mayores. Sin embargo, en el estrato 4 se puede ver que sus tarifas no tienen distorsiones por subsidios, ni tampoco de sobrecostos por contribuciones. Por lo que se puede deducir que el promedio de las tarifas de energía eléctrica ha tenido incrementos en cada año, a pesar de que se ha optado por diferentes mecanismos que ayuden o regulen estas alzas pero que notoriamente es complejo a la hora de ejecutarlo.

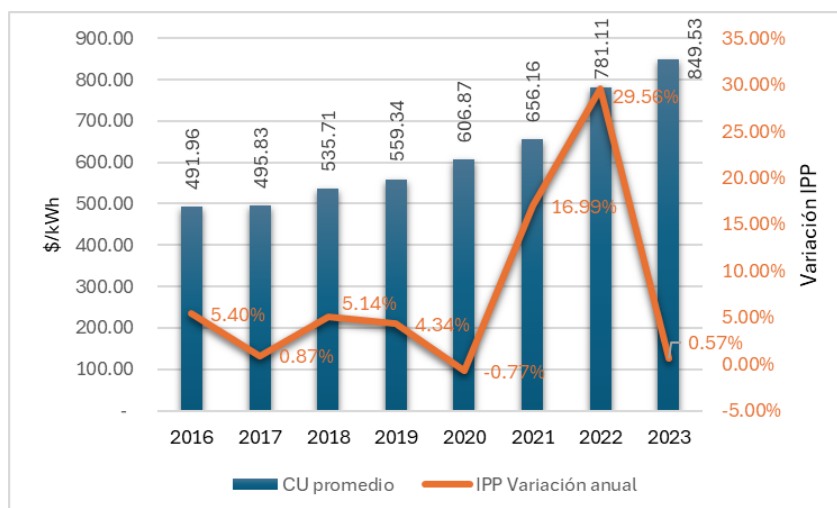
De igual forma, el incremento sostenido de las tarifas de energía eléctrica en Colombia ha generado un impacto significativo en la economía de los hogares y en el crecimiento económico del país. Este fenómeno ha afectado no solo a los ciudadanos sino también a las empresas, alterando el Índice de Precios al Consumidor (IPC) y el Índice de Precios al Productor (IPP), y, por ende, los ingresos per cápita y la capacidad adquisitiva de la población.

En este sentido, las alzas tarifarias de energía eléctrica en Colombia pueden ejercer una presión adicional sobre los hogares dependiendo su estrato socioeconómico, donde ejerce directamente un incremento en sus gastos, generando consigo una carga significativa en el presupuesto familiar. No obstante, las empresas, especialmente las pequeñas y medianas, también han enfrentado mayores costos operativos, lo que ha afectado su competitividad, tanto en el mercado interno como en el internacional y, en algunos casos, ha resultado en la reducción de personal o el cierre de negocios. La imagen 3 correlaciona el CU y el IPC, puede observarse que en el año 2016 el precio CU promedio fue de 491.96 y en 2023 fue de 849.53, es entonces que, al compararla con el IPC, se evidencia que en el 2016 el promedio de variación anual fue del 5,75% y en el 2023 fue del 9,28%. Por lo cual, ceteris paribus, puede concluirse que en el periodo comprendido entre 2016 y 2023 hubo un mayor precio CU y, a su vez, aumentó consigo el IPC.

Imagen:3 Promedio del CU Vs IPC (2016-2023)

Fuente: Elaboración propia, información de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios y el DANE.

Respecto al IPP, como muestra la imagen 4, su variación anual fue del 0,57% en el año 2023, habiendo iniciado el registro en 2016 en 5,4% por consiguiente, se puede llegar a entender que este indicador viene cayendo, según Ballén (2023) esto se debe a los eventos recientes en el mercado global de alimentos y a la caída del dólar, lo que ha debilitado el IPP. Este escenario también es beneficioso para controlar la inflación, ya que ayuda a evitar que las expectativas de precios de los productores se trasladen a los consumidores.

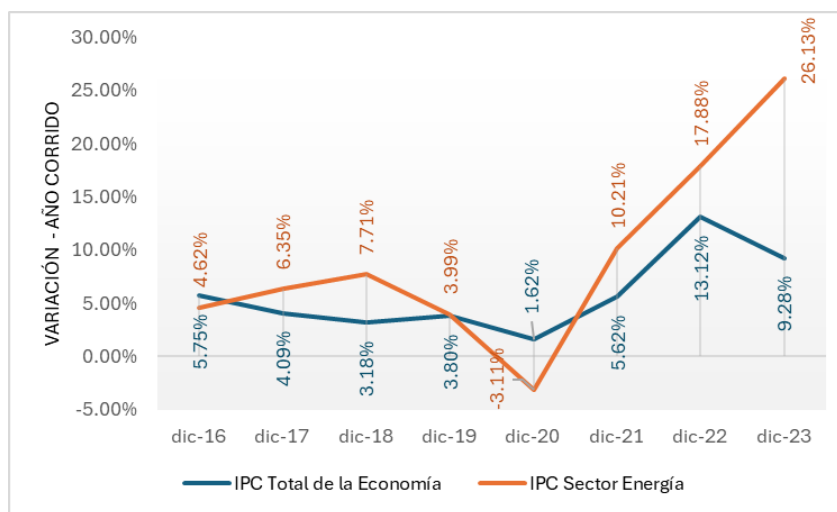
Imagen:4 Promedio del CU Vs IPP (2020-2023)

Fuente: Elaboración propia, información de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios y el DANE

La imagen 5 presenta la evolución del IPC total de la economía en comparación con el IPC del sector energía. En términos generales la inflación del total de la economía muestra un comportamiento relativamente estable, con extremos tales como el mínimo de 1.62% que se presenta en 2020 (un año atípico marcado por la pandemia) y un máximo de 13.2% en 2022. La fuerte desaceleración del IPC en 2020 se explica por la contracción económica y la disminución de la demanda agregada debido a la crisis sanitaria mundial. Las restricciones y la incertidumbre económica afectaron tanto la oferta como la demanda, conteniendo los precios. A partir de 2021, se observa una recuperación, impulsada por el aumento de la demanda interna y el alza de los precios internacionales de insumos y materias primas (presiones inflacionarias globales).

Por su parte, la inflación del sector energía refleja una mayor volatilidad. Previo a la pandemia trae un patrón de crecimiento moderado pero mayor que la inflación total, en el 2020 desciende a -3.11% debido a las restricciones de movilidad y la menor actividad industrial y comercial. Ya en los años postpandemia se dispara una variación alcista que alcanza el 26.13%.

En términos generales, la inflación del sector eléctrico tiene una mayor volatilidad frente a la inflación general, y al mismo tiempo es más sensible a las variaciones de la demanda (confinamiento y a la crisis económica). El marcado repunte postpandemia hace evidente que el sector energético enfrentó mayores presiones inflacionarias en comparación con el resto de la economía. Respecto de este efecto de encarecimiento, impactó a toda la población colombiana, tanto hogares como empresas han visto acotado su disponible.

Imagen:5 Variación anual del IPC sector energía.

Fuente: Elaboración propia, información del DANE

En cuanto, a nivel macroeconómico, estas alzas han contribuido a un aumento en la inflación, afectando el poder adquisitivo de los consumidores y generando consigo presiones sobre la política monetaria del país. Sumado a esto, “un choque que incremente la inflación del productor tiene un efecto positivo y contemporáneo sobre el aumento en los precios de la energía” (Corficolombiana, 2022) provocando, a su vez, el incremento de los costos de producción en diferentes sectores industriales, afectando en los precios finales de bienes y servicios, como también, al índice de precios al consumidor (IPC) y al crecimiento económico.

El informe de política monetaria del Banco de la República (2023, p.43) menciona que:

“A pesar del estado favorable de los embalses, los contratos de venta de energía eléctrica de las generadoras a las comercializadoras, en su mayoría, están indexadas al IPP de oferta interna, cuyo ajuste anual a diciembre de 2022 ascendió al 19,4%. Como se describió, el factor tarifario de generación no es el único indexado al IPP, también el transporte y la distribución se actualizan mensualmente con este indicador. En consecuencia, estos factores tarifarios han estado contribuyendo significativamente al fuerte cambio anual del IPC de energía eléctrica en los últimos meses. De manera similar, el componente tarifario de comercialización, el cual está atado al IPC, viene incorporando en su dinámica la alta inflación al consumidor, que en diciembre se situó en el 13,1%.”

Consistente al nivel macroeconómico respecto del efecto: impacto y causalidad, sobre la varianza de las tarifas de energía eléctrica es importante correlacionarlo, adicionalmente, con el desempeño económico de un país, pues se trata de un servicio transversal en la economía.

De acuerdo con World Bank (2024), por defecto se conserva una expectativa optimista sobre el crecimiento económico de una nación, entendiendo que el buen desempeño económico trae consigo desarrollo y bienestar mediante el aumento de los ingresos y la mejora de la calidad de vida de los individuos, adicionalmente favorece el desarrollo de la infraestructura. Todo lo anterior tiene un impacto directo sobre los servicios públicos domiciliarios, ya que son necesarios para la producción de los deltas de demanda que tendrá la población al alcanzar una mejora en sus condiciones de vida.

El crecimiento económico sostenido es importante para mejorar los estándares de vida, reducir la pobreza y aumentar la capacidad productiva de los países. Se logra principalmente a través del aumento en la producción total de bienes y servicios dentro de una economía. Este crecimiento es fundamental porque se asocia directamente con la mejora del bienestar social, es decir, a medida que la economía crece se generan más empleos, aumentan los ingresos y las personas tienen acceso a una mayor cantidad de bienes y servicios, adicionalmente proporciona a los gobiernos mayores ingresos fiscales, lo que permite aumentar el gasto público destinado a salud, educación, infraestructura, etc.

El crecimiento económico tiene un impacto directo en los servicios públicos domiciliarios. En este trabajo se concentra en el servicio de energía eléctrica. A medida que un país experimenta un desempeño positivo en la actividad económica, varios elementos contribuyen a dinamizar tanto la demanda como la oferta del servicio público domiciliario de energía eléctrica.

El aumento en el consumo (demanda) de energía eléctrica, en el marco de un crecimiento económico proviene del:

- Crecimiento del sector manufacturero e industrial derivado del aumento en la producción de bienes, para lo cual requiere energizar infraestructuras, maquinaria, iluminación, en general procesos fabriles.
- Crecimiento del sector servicios y comercio. Los nuevos centros comerciales, oficinas, hospitales, hoteles, aumentan la demanda de energía. Al mismo tiempo la democratización tecnológica (más celulares, computadores, servidores, y gadgets) que con

precios más competitivos cada vez, permiten a la sociedad en general aumentar la compra de estos dispositivos cuyo funcionamiento depende de una carga eléctrica.

- Mayor consumo residencial que llega a través de las siguientes vías: mejora en la calidad de vida cuando las personas amplían sus viviendas y adquieren más electrodomésticos. También a través del aumento en la urbanización (vivienda nueva) conectadas a la red de distribución.

En contraparte, la respuesta a la varianza en la demanda de energía es el delta en la oferta (oferta agregada), y esta respuesta termina siendo mandatorio o condicionada por el balance de carga con el que opera el sistema eléctrico colombiano. Aunque, el sistema eléctrico funciona de manera equilibrada entre la generación y el consumo de energía eléctrica en todo momento, en la actualidad a pesar de los avances en transición energética, la infraestructura no cuenta con baterías a gran escala para almacenar excedentes de generación o atender picos de demanda; por lo que la cantidad de energía generada debe ser igual a la cantidad de energía consumida.

Ahora bien, sabiendo que ya se ha mencionado la interrelación entre el crecimiento económico y un efecto delta en la oferta y demanda de energía eléctrica, es relevante revisar el comportamiento económico de Colombia entre 2016 y 2023, para este objetivo la respuesta se halla mediante el Producto Interno Bruto (PIB), por lo que es un indicador clave sobre la salud y el desempeño de una economía, es guía fundamental para los economistas y los gobiernos como generadores de políticas públicas.

Para el caso colombiano, según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) 2023 en la desagregación de actividades económicas que son consideradas en el cálculo del PIB se encuentra: agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca; explotación de minas y canteras; industrias manufactureras; suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado; construcción; comercio al por mayor y al por menor; información y comunicaciones; actividades financieras y de seguros; actividades inmobiliarias; actividades profesionales, científicas y técnicas; administración pública, defensa, educación y salud; y actividades artísticas, de entretenimiento y recreación, junto con otras actividades de servicios.

En la imagen 6, de acuerdo con datos del PIB registrado por el Banco de la República para el periodo de análisis 2016-2023 en general se refleja variaciones positivas (crecimiento económico) salvo en el año 2020 el cual es atribuible a la crisis generada por el COVID-19.

Asimismo, la imagen 7 presenta el precio promedio de los contratos del mercado eléctrico colombiano (Mc - barras azules), que tienen como destino los usuarios finales, en esta misma se muestra el comportamiento de la demanda de energía eléctrica (línea continua naranja). Ambos elementos (Mc y Demanda de energía) coinciden con variaciones positivas a la par de lo evidenciado en el PIB.

Imagen:6 Variación anual del PIB.

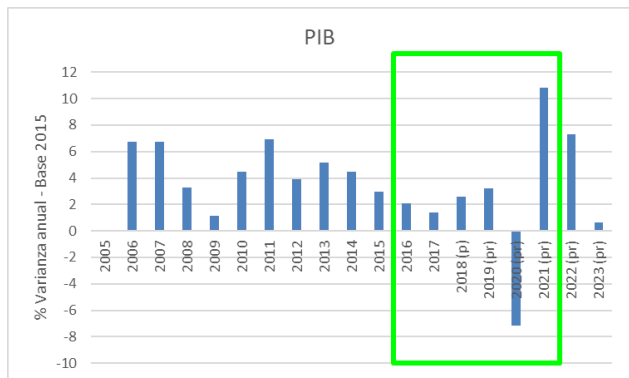
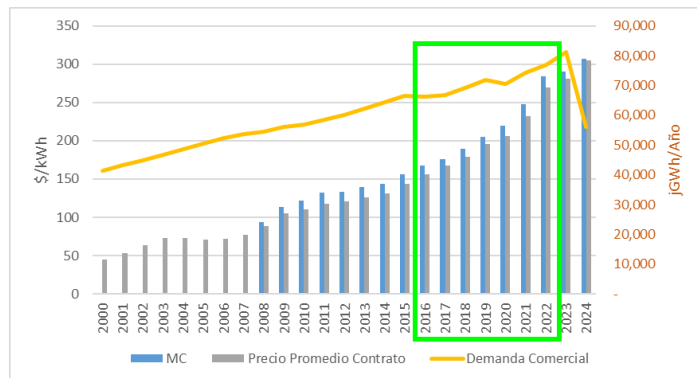


Imagen:7 Precio promedio de los contratos del mercado eléctrico con demanda comercial en cuestión del PIB.



Fuente: Banrep – Elaboración propia

Fuente: XM – Elaboración propia

En Colombia, el mercado de energía eléctrica se caracteriza por ser un mercado competitivo pero regulado, lo que implica que existen múltiples empresas operando bajo reglas y marcos regulatorios establecidos por el gobierno. En donde hoy en día, hay 29 empresas incumbentes que comercializan energía eléctrica a la población, lo cual promueve la competencia entre ellas. Esta competencia, a su vez, introduce volatilidad en los precios de la electricidad, ya que intervienen diferentes factores como el comportamiento del IPC e IPP en cuanto a nivel económico y, a su vez, el cambio directo que ocasiona en el crecimiento económico, en conjunto afectan la oferta y la demanda en el mercado. Por tanto, puede plantearse la siguiente pregunta de investigación:

¿Existe correlación entre el costo unitario de la energía eléctrica y los factores económico como el IPC, IPP y el PIB que afectan las tarifas de energía eléctrica en Colombia?

2. Justificación

El sector eléctrico y el mercado de energía siempre ha tenido relevancia a nivel económico y social de un país, pero en los últimos años, además, ha ganado importancia el componente ambiental. Adicionalmente, el sector eléctrico es un pilar fundamental para el crecimiento económico y el bienestar social en Colombia, siendo la electricidad un servicio público esencial que impacta tanto a hogares como a empresas. Dada su importancia, el estudio de las tarifas de energía eléctrica y su relación con factores económicos como el Índice de Precios al Consumidor (IPC), el Índice de Precios al Productor (IPP), y el consumo de electricidad cobran especial relevancia, ya que estas variables están íntimamente relacionadas con la dinámica económica del país.

Las tarifas de energía eléctrica en Colombia juegan un papel protagónico en la economía, no solo como un componente clave del costo de vida de los hogares, sino también como un insumo vital para el sector productivo. El precio de la energía eléctrica influye directamente en los costos de producción de bienes y servicios, por ende, en la competitividad del país.

Las tarifas de energía eléctrica (Costo Unitario - CU) tiene una relación circulante con el IPC e IPP puesto que al menos 4 de los 6 componentes que integran el CU se indexan periódicamente (generalmente de manera mensual) en función de la variación del IPP e IPC, y, a su vez, el cálculo del IPC incluye los servicios públicos y la energía eléctrica es uno de estos. Así las cosas, las tarifas de energía eléctrica repercute directamente en la inflación a través del impacto que tiene sobre el sector productivo y el costo de vida.

Se considera relevante determinar la relación de los factores económicos y las tarifas de energía eléctrica, teniendo en cuenta que durante los últimos 8 años el PIB de Colombia ha presentado mayoritariamente periodos de crecimiento económico (salvo en 2020 que por pandemia, fue negativo) derivado de este crecimiento económico, los ciudadanos alcanzan una mejora en su bienestar general, lo que les permite aumentar el consumo de bienes y servicios que requieren energía eléctrica para su concepción.

El Producto Interno Bruto de Colombia ha mostrado un comportamiento cíclico durante el periodo 2016 a 2022, con una periodo de crecimiento moderado previo a la pandemia (crecimiento entre el 2% a 3% durante los años 2016 a 2019), ya en el 2020 la contracción fue crítica alcanzando el -7% producto de las diferentes medidas para la contención del virus COVID-19, una vez llegado el 2021 y 2022 Colombia alcanzó una

importante recuperación (10% y 7%) reflejando una rápida normalización tras superarse la pandemia. Estas fluctuaciones económicas tienen una relación directa con el comportamiento de la demanda energética y las dinámicas del mercado eléctrico.

Stern (2004) manifiesta que el incremento del ingreso real aumenta la demanda de todos los bienes y servicios en la economía, por consiguiente, aumenta la demanda de energía para producirlos. El crecimiento económico genera una mayor demanda de energía, debido al aumento de la actividad industrial, comercial y residencial. Este incremento en la demanda, junto con la oferta limitada de energía, impacta las tarifas del mercado, las cuales afectan a millones de usuarios finales. Sin embargo, bien es cierto que la volatilidad de las tarifas no solo responde a la oferta y la demanda de energía, sino también se ve influenciada por factores estructurales del mercado energético. En este sentido, las fluctuaciones en los precios pueden tener consecuencias económicas significativas, especialmente en la estabilidad financiera de los sectores productivos y en la calidad de vida de los consumidores.

Esta proposición es relevante porque aborda la interrelación entre los factores económicos (IPP, IPC y PIB) y las tarifas de energía eléctrica, dos aspectos que han mostrado correlaciones importantes en el pasado, pero que requieren un análisis detallado en el contexto actual. El entendimiento de estas interdependencias es fundamental para la planeación del desarrollo de infraestructura de generación y transporte de energía eléctrica, toda vez que el sistema eléctrico Colombiano funciona de manera sincrónica entre los volúmenes de demanda y generación (no se cuenta con recursos de almacenamiento energético a gran escala en los que se pueda reservar los picos de generación ni los de demanda), adicionalmente un desequilibrio entre la oferta y demanda de energía derivado del crecimiento económico, podría conllevar al incremento de la tarifa de energía, lo que desestimularía la productividad industrial y comercial.

3. Objetivos

3.1 Objetivo General

Estimar la correlación entre el costo unitario de la energía eléctrica y los factores económicos como el IPC, IPP y la relación entre el consumo de electricidad y el crecimiento económico entre 2016 y 2023.

3.2 Objetivos Específicos

1. Examinar la influencia de factores económicos, como el Índice de Precios al Consumidor (IPC) y el Índice de Precios al Productor (IPP), en la variación del precio unitario de la energía eléctrica en Colombia, identificando patrones de correlación que permitan entender su impacto en la fijación de tarifas.
2. Analizar cómo el crecimiento económico y el consumo energético están interrelacionados.
3. Determinar si existe una relación causal significativa entre estas variables en el contexto colombiano.

4. Marco Teórico

Los servicios públicos domiciliarios en Colombia según la Constitución Política son considerados esenciales para garantizar la satisfacción de las necesidades básicas, a su vez, el Estado tiene la responsabilidad de asegurar el acceso equitativo, eficiente y sostenible para toda la población. Adicionalmente, cabe recalcar que en el país se cuenta con un marco normativo de política pública “asociado a la prestación del servicio público de energía eléctrica colombiano son las Leyes 142 y 143 de 1994. La primera es conocida como la Ley de servicios públicos domiciliarios y la segunda, es conocida como la Ley eléctrica.” (Casallas Buitrago) en donde la ley 142 abarca las funciones y obligaciones que tienen las empresas comercializadoras, y en la ley 143 comprende las funciones específicas que tienen que ejercer las entidades como lo es la UPME, SSPD, CREG CND y CNO.

Particularmente, la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), se encarga de regular las tarifas de energía eléctrica que se deben aplicar al usuario final. De tal manera que el Costo Unitario (Tarifa) está conformado por los siguientes elementos: Generación (G), Transmisión (T), Distribución (D), Comercialización (C), Pérdidas (Pr) y Restricciones (R). No obstante, este costo puede variar dependiendo de varios factores, como la región geográfica o el tipo de consumidor.

De acuerdo con Lozano y Rincón (2010) menciona que:

La tarifa definida en pesos por kilovatio hora (\$/kWh), tiene como base de cálculo el costo unitario (CU) de la provisión del servicio y en su determinación se tiene en cuenta si el consumo es residencial o industrial. Para el caso del consumo residencial, se cobra de manera estratificada, de modo que para los estratos 1, 2, y 3 se le descuenta un subsidio al CU, al estrato 4 se le cobra justamente el CU, mientras que a los estratos 5 y 6 se le adiciona una contribución. Por su parte la tarifa que se cobra a los usuarios industriales regulados está conformada por el CU más una contribución (o sobretasa).

En cuanto al componente de Generación “está planteado en función del promedio mensual del costo de la energía en el mercado mayorista con destino al mercado regulado, tanto individual (Comercializador) como agregado (todos los comercializadores)” (Cardona Correa & Ponce Bernal, 2007), recalcando que se está usando como referencia el precio que se forma en el mercado mayorista, para la formación de precios en el mercado minorista. En cuanto, al componente de Transmisión (T) según la resolución CREG 011 de 2009 “consiste, básicamente, en estimar una anualidad a partir del capital invertido, la vida útil y una tasa

reconocida, añadiendo a esto ingresos por otros conceptos” (Trillos González, 2012) en donde se fijaron los valores e ingresos reconocidos de los transmisores, obteniendo este componente con la suma de todos los ingresos “fijos” en pesos y dividiéndolos por la suma de la energía consumida por todos los comercializadores (en kWh).

Ahora bien, el componente de Distribución (D) es tomado en cuenta según su actividad de transportar y distribuir la energía a diferentes niveles de tensión, siempre y cuando se les aseguren retornos adecuados. Estos retornos deben permitir la recuperación de las inversiones realizadas y cubrir los costos asociados a la actividad, incluyendo administración, operación y mantenimiento. Además, según la CREG 097 de 2008 menciona que los operadores de red de los sistemas de transmisión regional (STR) y sistemas de distribución local (SDL). “Para los STR (nivel de tensión 4) la remuneración es por ingreso regulado, mientras que para los SDL (niveles de tensión 1, 2 y 3) la remuneración es, al menos en principio, por metodología de precio máximo.” (Trillos González, 2012)

El componente de Comercialización (C) se enfatiza en la regulación a través de los costos medios del mercado completo ya sean regulados o no regulados, por el cual busca reconocer los costos máximos asociados con la atención de los usuarios regulados. Es por eso que se requiere “calcular el Costo Base de Comercialización, expresado en \$/Factura, el cual es fijo y el Consumo Facturado Medio, que resulta de dividir el total de kWh vendidos, tanto a usuarios regulados como no regulados, entre el total de facturas expedidas.” (Cardona Correa & Ponce Bernal, 2007). El componente de Pérdidas (Pr) hace referencia a las redes y equipos de energía que ocasiona este componente, por el cual se puede estimar con modelos de simulación en los niveles de tensión 4, 3 y 2, en donde el resultado es un porcentaje de pérdidas técnicas.

Por último, el componente de Restricciones (R) se da cuando se requiere modificar la asignación de los generadores, causando un sobre costo operativo en pesos que lo determina el administrador del sistema de intercambios (ASIC) en donde es asignado a cada comercializador, y “se divide por las ventas en kWh de este, a usuarios regulados y no regulados, obteniendo así los costos asociados con restricciones y 34 servicios asociados con generación del componente R en \$/kWh que se incluye en la fórmula tarifaria.” (Trillos González, 2012)

De tal manera que el mercado del sector eléctrico representa una parte significativa de la economía del país, en donde su contribución influye en los indicadores económicos y que

esto hace que impacte de manera directa a los consumidores finales y oferente. La estructura de los agentes consumidores se encuentra desagregado en dos tipos de usuarios que son los regulados y no regulados, en donde el primero está compuesto por los hogares, pequeñas y medianas empresas que reciben servicios de electricidad a través de las redes de distribución. Servicio regulado por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) y supervisado por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios SSPD.

La demanda de los usuarios regulados influye en varios aspectos, en donde el consumo de electricidad determina la necesidad de generación y transmisión de energía por parte de los agentes del mercado, lo que afecta la planificación y la operación del sistema eléctrico. Además, las tarifas eléctricas que pagan los estos usuarios son reguladas por la CREG y se consideran factores como los costos de generación, transmisión, distribución y cargos asociados. Por ello, las decisiones de inversión y operación de las empresas del sector eléctrico también están influenciadas por las necesidades y preferencias de los usuarios.

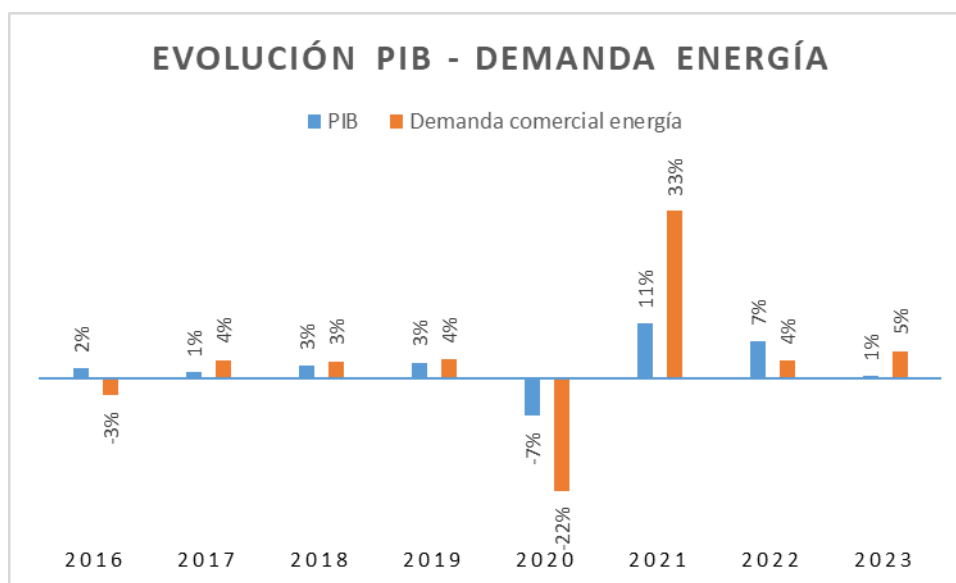
En cambio, en los usuarios no regulados son destacados las grandes empresas, industrias y comercios que consumen grandes volúmenes de energía eléctrica, por lo cual, pueden negociar directamente con las empresas comercializadoras, los componentes tarifarios de Generación y Comercialización. Adicionalmente, estos usuarios incentivan a los generadores y comercializadores a ofrecer mejores precios, servicios personalizados y soluciones innovadoras para satisfacer sus necesidades energéticas, en donde lleva consigo a la mejora de la eficiencia, reducción de costos operativos y cumpliendo con objetivos de sostenibilidad ambiental.

Uno de los causantes de la varianza en las tarifas del suministro de energía eléctrica está determinada por el artículo 125 de la ley 142 de 1994, en el que dispone que “las empresas podrán actualizar las tarifas que cobran a sus usuarios aplicando las variaciones en los índices de precios que las fórmulas contienen.”. Los índices a los que hace referencia son el Índice de Precios al Productor (IPP) y al Índice de precios al Consumidor (IPC). De acuerdo con Caballero (2023) “La indexación es un proceso mediante el cual se ajusta el valor de una variable (como precios, salarios, tasas de interés, etc.) de acuerdo con un índice o indicador económico. Este índice se utiliza como un referente para medir la variación del valor de la variable en el tiempo, y así poder ajustar su valor en consecuencia.” El objetivo de realizar la indexación es conservar el poder adquisitivo en la recuperación de los costos operaciones frente a la inflación, sin embargo, en el caso Colombia puede terminar generado un círculo de retroalimentación (interdependencia), puesto que el alza de tarifas se ajustan en

función de la variación del IPP y el IPC, y el cálculo de la inflación (IPC) considera el costo de los servicios públicos (incluye energía eléctrica) como un componente importante en el costo de vida y de producción .

Otro elemento que converge en la varianza de las tarifas de la energía eléctrica es el desempeño económico del país. La imagen 8 muestra simultáneamente el comportamiento del PIB de Colombia desde el 2016 hasta 2023 versus el comportamiento de la demanda de energía eléctrica.

Imagen:8 Evolución PIB versus demanda de energía



Fuente: Banrep y sinergox.xm.com.co – Elaboración propia

Durante el periodo 2016 a 2019 el PIB registro un crecimiento entre el 2% y 4%, por su parte la demanda de energía inicialmente a un menor ritmo y ya sobre el 2019 la demanda equiparó el crecimiento (correlación positiva). En el año 2020 se presenta una caída del 7% en el PIB producto del impacto del cese de actividades productivas al que conllevó la pandemia del Covid-19, de parte de la demanda de energía la caída fue aún más pronunciada alcanzando el 22% producto de la disminución del consumo de bienes y servicios debido a la contracción económica (correlación negativa). Para el año 2021 se presenta el comienzo de la recuperación económica con un crecimiento del 11% del PIB impulsado por la reactivación de las actividades productivas, en esta reactivación en la demanda de energía implicó un rebote aun mayor que el PIB con un aumento del 33% derivado del reinicio de la actividad comercial e industrial que requirió más energía para satisfacer el consumo post-pandemia. Ya

el año 2022, si bien crece positivamente el PIB, la demanda de energía lo hace más moderadamente.

Si bien es cierto que el aumento de la demanda de energía no es el único factor que influye en la formación del precio de la energía, si puede generar presión sobre la oferta limitada, lo que podría elevar los precios toda vez que el aumento en la capacidad instalada de generación no crece tan vertiginosamente como la demanda por elementos propios de la regulación del sector eléctrico colombiano (licencias ambientales, puntos de conexión, redes de transmisión, pruebas técnicas, etc).

5. Antecedentes

Con el fin de determinar si el problema planteado ya tiene alguna respuesta parcial, se hizo una revisión de literatura; tomando como restricción que, el diferencial a lo largo de las tarifas de energía eléctrica ha sido investigado de manera limitada. En efecto, se investiga sobre los indicadores económicos como también el bienestar y poder adquisitivo que tienen los hogares.

En cuanto a nivel internacional, según Rodríguez (2022) desde mediados del 2021 la Unión Europea enfrenta una crisis energética que ha provocado un incremento significativo en la inflación, llevando a implementar diversas medidas para controlar los precios y proteger a los consumidores más vulnerables, asegurando también la seguridad del suministro. Aunque la reducción de consumo de gas y electricidad puede ayudar a aliviar la presión sobre los precios, su efecto es limitado. En octubre de 2022, la discusión en la Comisión y el Consejo de la UE se centró en limitar temporalmente el precio de la electricidad de ciertos generadores, pero en España esto tendría un impacto menor debido a los mecanismos ya en marcha. Además, la alta exportación de electricidad a Francia, impulsada por diferencias en las reglas de precios, ha incrementado el consumo de gas para generación eléctrica en España, dificultando la meta de reducción de consumo de gas. A largo plazo, la aceleración de la transición hacia energías renovables es crucial, aunque no resolverá el problema energético a corto plazo.

Ahora bien, “la región latinoamericana y caribeña es la más verde del planeta en términos de su matriz de oferta de energía, con una tercera parte proveniente de fuentes renovables, en comparación con un 13% del promedio mundial” (Organización Latinoamericana de Energía - Olade, 2024).en donde varios estudios han abordado la correlación entre el precio de la energía eléctrica y los indicadores económicos como el Índice de Precios al Consumidor (IPC) por lo que las variaciones en los precios de la energía eléctrica afectan el IPC en países de la región, en cuanto al Índice de Precios al Productor (IPP) los cambios en los precios de la energía eléctrica tienen un efecto considerable sobre este indicador, especialmente en sectores intensivos en energía, reflejándose en el costo final de los bienes y servicios producidos.

De acuerdo con Montagut (2019) señala que las acciones del Estado deben dirigirse a generar políticas que permitan el aumento del bienestar general en la medida que se promueva la movilidad social, y para ello el Estado debe garantizar las condiciones básicas

para que las personas puedan desarrollar sus capacidades y, por ende, obtener, mejores oportunidades. No obstante, con en el tiempo reciente los determinantes de las perspectivas de gasto de las familias han tendido a deteriorarse. Esto es debido a que los elementos coadyuvantes en el detrimento de las rentas, patrimonio, crédito y en general el poder adquisitivo de los hogares, se debe al aumento sostenido desde 2021 de la tasa de inflación de los bienes y servicios de consumo para los hogares, particularmente los energéticos.

A su vez, el proceso inflacionario se ha visto agravado en primer lugar, por el cese de la actividad productiva como consecuencia de la crisis sanitaria y en segundo lugar por el estallido de guerra entre Rusia y Ucrania. El efecto de estas eventualidades se refleja en el encarecimiento de las materias primas y servicios, incertidumbre sobre la evolución del conflicto, pérdida de la confianza de los actores económicos, en general un detrimento del contexto económico global (Martínez Carrascal, 2022).

Cavallo (2020), menciona que la información de gastos en consumo por el aumento de la inflación encuentra que en la mayoría de los casos el índice de precios alternativo (IPC-COVID) arroja una inflación mayor que la calculada con el IPC oficial. En el cual refleja unas sendas de crecimiento económico, ocasionado por este acotamiento del COVID-19; generando consigo un repunte en las presiones alcistas de inflación. En donde el incremento de este indicador se hace evidente en la economía colombiana a través de la dinámica del comercio internacional, restricciones al mercado de crédito, presión devaluacionista, en los hogares hay pérdida del poder adquisitivo, detrimento de la renta y patrimonio, en general de la situación económica. (Pérez Arroyave, Rojas León, Soto, & Correa, s.f.).

Por otro lado, los servicios públicos en Colombia, particularmente la energía eléctrica se indexa con el Índice de Precios al Productor (IPP) el cual es un indicador económico que presenta la variación de precios de los productos en la primera etapa de comercialización, es una herramienta para la detección de canales de trasmisión inflacionarios (DANE, 2022). Esta dinámica de ligar la actualización tarifaria de la energía a la variación del IPP ha llevado a que en el año 2022 las tarifas de la energía eléctrica se hayan incrementado el 26% a nivel país y en regiones como la costa norte hasta el 50%.

Por otra parte, varios estudios han investigado la relación entre el precio de la energía eléctrica con la aplicación del indexador del índice de Precios al Consumidor (IPC) en donde según Gómez (2023) menciona que debido a un aumento en la tarifa final de la energía eléctrica durante períodos de inflación en los precios del productor, este incremento se

traslada de manera directa al Índice de Precios al Consumidor (IPC), por lo que conlleva a un canal de transmisión inercial entre la inflación del Índice de Precios al Productor (IPP), los componentes de transmisión y distribución de energía, y finalmente la inflación del IPC. En donde el análisis evidencia que los aumentos en los precios de la energía se trasladan a los precios de los bienes y servicios, contribuyendo a un incremento generalizado en el IPC, lo cual puede intensificar las presiones inflacionarias en la economía colombiana.

Fischer Stanley & Startz (2009) mencionan que para Solow (1956) el crecimiento económico depende de la acumulación de capital, la fuerza laboral y el progreso tecnológico. Por su parte para Romer (1990) considera que el crecimiento económico corresponde a un proceso impulsado internamente por la acumulación de conocimiento y tecnología, un cambio endógeno, es decir, proviene desde el interior del sistema económico.

Así las cosas, el crecimiento económico influye directamente en los servicios públicos domiciliarios. Cuando un país registra un buen desempeño en su economía, esto impulsa tanto la demanda como la provisión del servicio público de energía eléctrica, debido a que el aumento en la actividad económica requiere un mayor suministro de energía para sostener el crecimiento de sectores productivos y satisfacer las necesidades de una población con mayor capacidad de consumo.

Es por eso que el aumento en el consumo (demanda) de energía eléctrica, en el marco de un crecimiento económico, proviene de varios factores. En primer lugar, el crecimiento del sector manufacturero e industrial, impulsado por un incremento en la producción de bienes, requiere energizar infraestructuras, maquinaria e iluminación para los procesos fabriles. En segundo lugar, el crecimiento del sector servicios y comercio, con la construcción de nuevos centros comerciales, oficinas, hospitales y hoteles, eleva la demanda de energía. Además, la democratización tecnológica, con dispositivos a precios más competitivos, permite a la sociedad adquirir más gadgets que necesitan carga eléctrica. Finalmente, el mayor consumo residencial se manifiesta en la mejora de la calidad de vida, ya que las personas amplían sus viviendas y adquieren más electrodomésticos

Por otro lado, uno de los factores que sobresalen en cuanto al análisis del tema es acerca de la pobreza energética que ha venido aumentando en los últimos años por lo cual está en la necesidad de que todos los individuos tengan acceso equitativo a energía y a servicios energéticos de calidad, en donde es necesario a “responder a los efectos nocivos que este fenómeno tiene sobre el bienestar y las oportunidades de desarrollo de las personas, así

como garantizar que los procesos de transición energética y descarbonización no generen o profundicen condiciones de desigualdad social” (Villamizar Villamizar, 2023). Por lo tanto, se pronuncia que el aumento en los precios de la energía eléctrica afecta a los hogares de bajos ingresos, exacerbando la pobreza energética, en donde consigo conlleva a generar mayor proporción de hogares en situación de pobreza multidimensional, debido a que los costos de la energía representan una parte significativa de sus gastos totales.

Es por eso que según Acín Coello (2022) de acuerdo con la causalidad de Granger menciona que:

Es un test estadístico que comprueba si los resultados de una variable sirven para predecir la otra variable, y si tiene resultado unidireccional o bidireccional. Para ello, se tiene que comparar y deducir si el comportamiento actual y pasado de una serie temporal A predice la conducta de otra serie temporal B. Si esto ocurre, se puede afirmar que A causa B, y el comportamiento es unidireccional. Si de la misma manera B ayuda en la predicción de A, la causalidad es bidireccional, afirmando que A causa B y B causa A. La aplicación de la causalidad de Granger a series temporales clásicas ha sido estudiada con profundidad en la literatura, pudiéndose encontrar numerosos estudios de autores prestigiosos sobre ello, algunos de ellos se incorporan en el proyecto.

Por lo tanto, sobresale el tema de la causalidad bivariado con el fin “determinar en qué medida es posible predecir el valor de una variable en el caso en que se conozca el valor de otra variable.” Velázquez (2013). Es decir, el conjunto de relaciones estadísticas que implica dependencia entre las variables, por lo que cabe aclarar, que correlación no implica causalidad. Por lo que, la correlación se puede medir por medio del método de Mínimos Cuadrados Ordinarios.

6. Metodología

Pruebas de estacionariedad de las series

Un primer paso en el análisis de las series tiempo univariadas consiste en estudiar su comportamiento, particularmente revisar que su media incondicional no cambie a lo largo del tiempo y que su varianza dependa de un horizonte específico. Por ejemplo, que la varianza del mes determinado con respecto a cinco meses atrás, sea igual a la varianza de ese mes con respecto a cinco meses hacia adelante $var(x_t, x_{t-5}) = var(x_t, x_{t+5})$. A ambas condiciones se les conoce como estacionariedad débil (Tsay, 2010, p.30).

En este sentido, cuando una serie de tiempo sigue la forma $x_t = x_{t-1} + \epsilon_t$, se dice que sigue una caminata aleatoria y que tiene una raíz unitaria, puesto que el coeficiente que acompaña al rezago de la serie es uno (también son conocidas como series con tendencia estocástica). Dicha situación es problemática porque a la hora de modelar puede generar correlaciones espurias entre dos o más series, así como pronósticos erróneos.

Por ello, para descartar la presencia de raíces unitarias se aplicó la pruebas de hipótesis aumentada de **Dickey-Fuller** (Said & Dickey, 1994) y la prueba de **KPSS** (Kwiatkowski, Phillips, Schmidt, Shin, 1992). En cuanto a la prueba aumentada de **Dickey-Fuller**, se examina si una serie tiempo x_t sigue un proceso **ARIMA(p,1,q)** expresado así $x_t = \rho x_{t-1} + z_t$ y $z_t = \alpha z_{t-1} + e_t + \beta e_{t-1}$ y cuyas hipótesis son:

$H_0: \rho = 1$, La serie de tiempo no es estacionaria (contiene una raíz unitaria).

$H_a: \rho < 1$, La serie es estacionaria (no hay raíces unitarias).

Para la prueba **KPSS**, se asume que una serie de tiempo es la suma de una tendencia determinística ξ_t , una caminata aleatoria $r_t = r_{t-1} + u_t$ y un error estacionario ϵ_t matemáticamente $x_t = \xi_t + r_t + \epsilon_t$. La prueba se propone para superar la debilidad de la prueba Aumentada de Dickey-Fuller de no rechazar la presencia de raíces unitarias en muchas series de tiempo económicas (Kwiatkowski, Phillips, Schmidt & Shin, 1992, p.160), y por tener poco poder estadístico cuando las series de tiempo presentan raíces cercanas a la unidad. También es importante mencionar, que el componente de caminata aleatoria, su valor inicial r_0 se toma como fijo y hace las veces de un intercepto.

Formalmente, la prueba **KPSS** se supone que u_t esta distribuido idéntica e independientemente con media cero y varianza σ_u^2 ($u_t \text{ iid} \sim (0, \sigma_u^2)$), de donde pueden desprenderse dos pruebas de hipótesis: que x_t sea tendencia estacionaria (es decir,

estacionario después de extraer una tendencia o que la tendencia sea estadísticamente significativa) y que \mathbf{x}_t sea estacionario al rededor de la media (que no existan raíces unitarias en la serie x_t)

Ahora bien: en la primera versión de la prueba **KPSS**, se asume que la varianza de la caminata aleatoria es cero $\mathbf{H}_0: \sigma_u^2 = \mathbf{0}$, y por tanto \mathbf{x}_t sería estacionaria después de extraer una tendencia. En la segunda versión de la prueba, se fija $\xi_t = \mathbf{0}$ y \mathbf{x}_t sería estacionaria al rededor de un nivel \mathbf{r}_0 . Si las series son débilmente estacionarias, se puede estimar su interacción por medio de un modelo Vectorial Autorregresivo (**VAR**)

Modelos VAR

En contexto de series de tiempo multivariadas, los modelos Vectoriales Autorregresivos (**VAR**) se aplican en contextos en que las series individualmente son débilmente estacionarias y presentan simultaneidad, es decir, las variables son endógenas y en lugar de tener una relación unidireccional $x \rightarrow y$ presentan una relación bidireccional $x \leftrightarrow y$. Allí, el comportamiento actual del conjunto de series es explicado por contrapartes rezagadas. Formalmente, $\mathbf{y}_t = (\mathbf{y}_{1,t}, \mathbf{y}_{2,t}, \dots, \mathbf{y}_{K,t})$ representa el vector de las series de tiempo con observaciones $t = 1, 2, \dots, T$ y series $k = 1, 2, \dots, K$

$$\mathbf{y}_t = \Pi_1 \mathbf{y}_{t-1} + \Pi_2 \mathbf{y}_{t-2} + \dots + \Pi_p \mathbf{y}_{t-p} + \Phi \mathbf{D}_t + \mathbf{u}_t \quad (1)$$

En la ecuación (1), \mathbf{y}_{t-i} es el vector de series rezagadas i periodos y Π_i la matriz de coeficientes que relaciona los diferentes impactos de las series de tiempo i periodos atrás con sus contrapartes contemporáneas. \mathbf{u}_t representa el vector de errores que se asume sigue una distribución normal y Φ una matriz que pondera los efectos de variables dummy D_t . Previo a la estimación de un modelo **VAR**, se requiere revisar diferentes criterios de información para conocer el número óptimo de rezagos p .

Orden de integración de las series

Previo a la aplicación de las pruebas de cointegración es necesario examinar si el conjunto de series de tiempo posee individualmente el mismo orden de integración $I(d)$, de lo contrario, los resultados de la prueba de cointegración no serán confiables. En el contexto de este trabajo se detectó el orden de integración con métodos de Bootstrapping, que es un método robusto en muestras pequeñas en el cálculo de los p – valores se explica en Smeekes & Wijler (2020) y Smeekes & Wijler (2023).

El cálculo correcto de los p-valores de las pruebas de orden de integración, contribuye a la aplicación adecuada de la prueba de cointegración de Johansen y apropiada modelación de las tendencias comunes cuando existen, evitando además correlaciones espurias y pronósticos no confiables. Adicionalmente, los procedimientos estándar requieren que las series individualmente sean $I(1)$ para aplicar las diferentes versiones de las pruebas de cointegración.

Ahora bien: Smeekes & Wijler (2020) y Smeekes & Wijler (2023) suponen que una serie de tiempo y_t sigue la siguiente forma

$$y_t = x_t + \beta^T d_t, \quad x_t = \rho + u_t x_{t-1}$$

donde d_t es una función determinística del tiempo que puede tomar el valor de cero, un intercepto o un intercepto y función de tendencia. Luego, Smeekes & Wijler (2020) generalizan la prueba aumentada de **Dickey-Fuller**, para calcular el orden de integración d :

$$\Delta y_t^d = \gamma y_t^d + \sum_{j=1}^p \phi_j \Delta y_{t-j}^d + \varepsilon_t^d$$

Pruebas de cointegración y Modelos VEC

Básicamente, la idea de cointegración consiste en que, si dos series individualmente presentan raíces unitarias, debe existir una combinación lineal de ellas que sea estacionaria (Harsem, 2016, p.523). Por su parte, Johansen & Juselius (1990), a partir de un modelo vectorial autorregresivo pueden plantearse un modelo de Vector de Corrección de Errores (**VEC** por sus siglas en inglés) como se muestra en la ecuación (2). Allí, la primera diferencia de las series, esta explicadas por sus diferencias k periodos y las series originales k periodos rezagados y_{t-k} .

Particularmente, se examina si las series originales tienen efectos en la primera diferencia de las series en el tiempo t . Es decir, la hipótesis de cointegración es la hipótesis de rango reducido de la matriz de impactos de largo plazo $\Pi = \alpha\beta'$, donde β representan el vector de coeficientes de cointegración y α el vector de pesos o ponderaciones. $\Delta = \mathbf{1} - L$ y L el operador rezado $L(y_t) = y_{t-1}$.

$$\Delta y_t = \Gamma_1 \Delta y_{t-1} + \dots + \Gamma_{k-1} \Delta y_{t-k+1} + \Pi y_{t-k} + \Phi D_t + \mu + \varepsilon_t \quad (2)$$

donde,

$$\Gamma_i = -(I - \Pi_1 - \dots - \Pi_i) \quad (i = 1, \dots, k-1)$$

y

$$\Pi = -(I - \Pi_1 - \dots - \Pi_k)$$

Otra manera de pensar la ecuación (2) es un VAR en primeras diferencias, excepto por el término Πy_{t-k} . De ahí que, se quiera investigar si la matriz Π contiene información sobre las relaciones de largo plazo de las series, teniendo tres posibles resultados:

1. **Rank**(Π) = p Allí la matriz Π tiene rango completo indicando que las series son estacionarias.
2. **Rank**(Π) = 0 La matriz Π es una matriz nula y la ecuación(2) corresponde a un VAR en primeras diferencias tradicional.
3. $0 < \text{Rank}(\Pi) < p$ indicando que existen matrices de dimensión $p \times r$, α y β tales que $\Pi = \alpha\beta'$

En ese orden de ideas, si el conjunto de observaciones se comporta de acuerdo con el tercer caso, se estima un Vector de Corrección de Errores (**VEC**) como lo señala la ecuación (2).

Pruebas de hipótesis para los errores del modelo VAR y VEC

En general, para realizar inferencia sobre los parámetros, los modelos y los pronósticos estimados se requiere que los errores tengan un buen comportamiento, lo que significa seguir una distribución normal multivariada, no presentar heterocedasticidad condicional (no efectos ARCH) y ser serialmente independientes (es decir, trabajar con el número de rezagos adecuados en los modelos para que en los errores no se vean reflejadas estructuras autorregresivas).

La prueba de normalidad multivariada es una Prueba Jarque-Bera para los residuos del modelo VAR o VEC, es decir, revisa que tanto la asimetría como la curtosis de los errores del sistema de ecuaciones de un modelo **VAR** o **VEC** sigan una distribución normal multivariada (ver Lütkepohl (2006, 174-181) para más detalles).

En cuanto a la prueba de correlación serial (Breusch, 1978), (Edgerton & Shukur, 1999) (Godfrey,1978), es una prueba de Pormanteu-Breusch-Godfrey que examina la presencia o la ausencia de correlación serial en los errores. Esta prueba puede detectar mala especificación del modelo en cuanto a número de rezagos, dado que si el modelo **VAR** o

VEC no incorpora el número de rezagos correctos se reflejará en el comportamiento de sus errores.

Adicionalmente, otra prueba que se debe aplicar a los residuos de un modelo VAR o VEC, es la de no heterocedasticidad condicional en los errores, dado que su existencia genera tener demasiada incertidumbre al inflar los intervalos de confianza de los parámetros estimados. La forma en que usualmente se revisa esa condición consiste en una prueba de hipótesis de multiplicadores de Lagrange como se plantea en Doornik & Hendric (1997) y Engle (1982).

7. Resultados

Descripción de los datos

La base de datos está conformada por el índice de precios al consumidor (**IPC**), índice de precios al consumidor de energéticos **IPC_e**¹, índice de precios al productor (**IPP**) para la oferta interna y precio de la energía eléctrica para usuarios finales (**CU**) en el estrato socioeconómico 4 (que no tiene subsidios ni paga contribuciones). La base datos posee 96 observaciones mensuales entre enero de 2016 y diciembre de 2023. En cuanto al **IPC** el periodo base correspondió a diciembre de 2018 y el **IPP** a diciembre de 2014 con datos correspondiente a los mercados de **Antioquia, Bogotá y Caribe Mar**.

¹ El IPC de energéticos incluye gas y energía para consumo en el hogar y combustibles para vehículo.

Estadísticas descriptivas

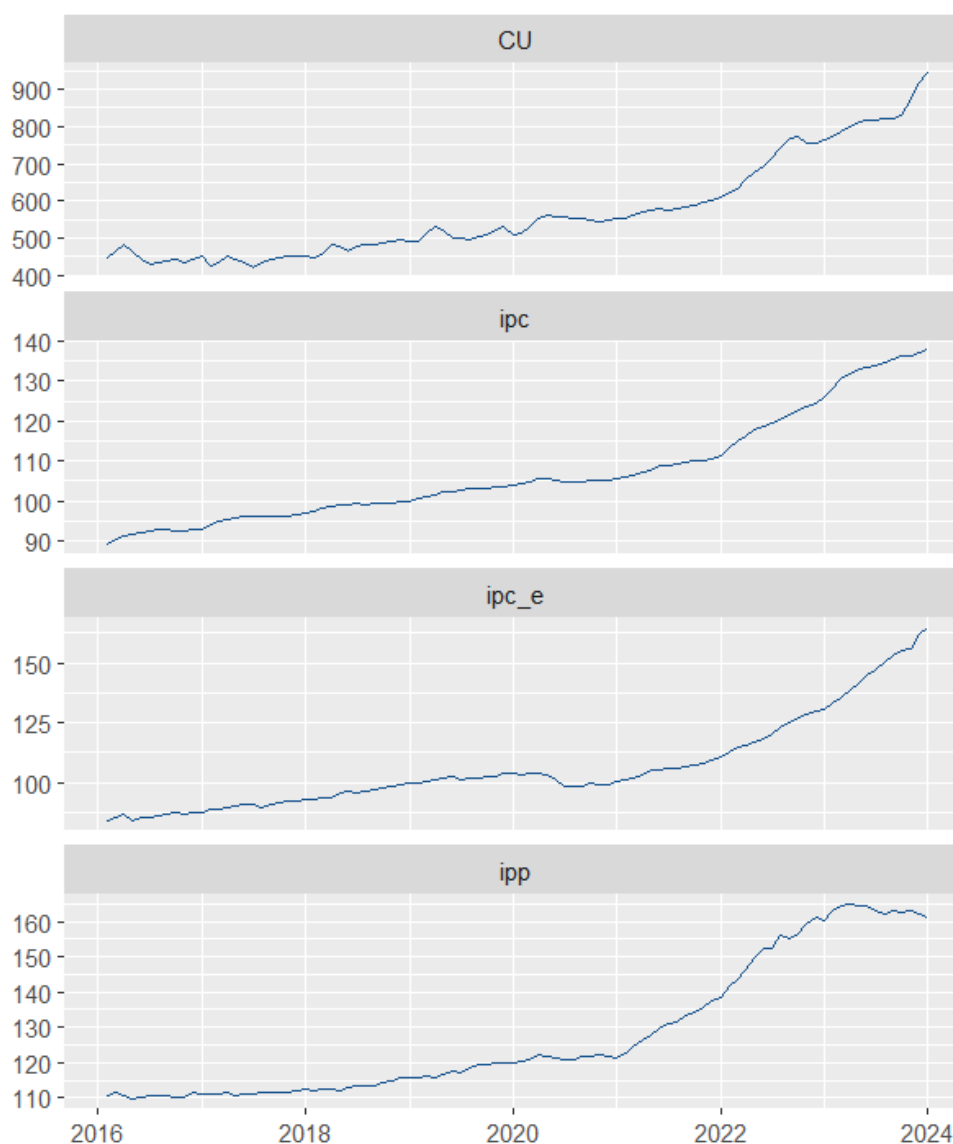
Tabla. 1. Estadísticas descriptivas de las series.

Estadístico/serie	CU	ipc	ipc_e	ipp	gCU	gipc	gipc_e	gipp	dgCU	dgipc	dgipc_e	dgipp
Min	422,1	89,19	83,77	109,9	-5,802	1,287	-4,494	-0,3585	-4,211	-1,389	-2,551	-2,657
1er Q	465,6	97,38	92,85	112,1	3,44	3,159	3,796	1,575	-1,519	-0,178	-0,859	-0,462
Mediana	531,8	104,02	101,39	120,2	7,19	3,713	5,984	3,503	0	0,043	0,029	0,097
Media	569,7	107,18	106,54	127,8	8,63	5,058	6,768	5,687	0,058	0,032	0,034	0,001
3r Q.	613,3	111,87	111,56	139,4	10,81	6,32	9,69	8,524	1,743	0,319	0,872	0,608
Max	943,2	137,72	165,06	164,9	31,37	13,283	19,035	18,48	6,348	6,348	2,93	2,131
Asimetría	1,05	0,95	1,34	0,92	1,064	1,219	0,347	1,045	0,189	-0,26	0,046	-0,496
Curtosis	0,013	-0,123	1,058	-0,719	0,804	0,219	-0,294	-0,317	-0,366	0,859	-0,522	0,320

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 1 se muestran las estadísticas descriptivas de los índices de precios, de los precios de la energía eléctrica, de sus respectivas tasas de crecimiento y primera diferencia de las tasas de crecimiento. Para el caso del costo de la energía eléctrica, se tomó el promedio del precio para el estrato correspondientes a **Bogotá, Antioquia y Caribe Mar**, expresado en términos de **Kilowatt/hora**. Para esta variable, el valor mínimo fue 422.1 pesos y el valor máximo de 943.2 (más del doble del valor mínimo). En cuanto al IPC, el valor mínimo fue de 89.19 lo cual es razonable, dado que el año base corresponde a enero de 2018 y un máximo de 137.72. En cuanto al IPP de oferta interna el mínimo fue de 109.9 y el máximo de 164.4, que son valores similares a los que tomó el índice de **IPC_e** con un mínimo de 83.77 y un máximo de 165.05.

Imagen:9 Evolución de los precios de la energía e índices de precios.



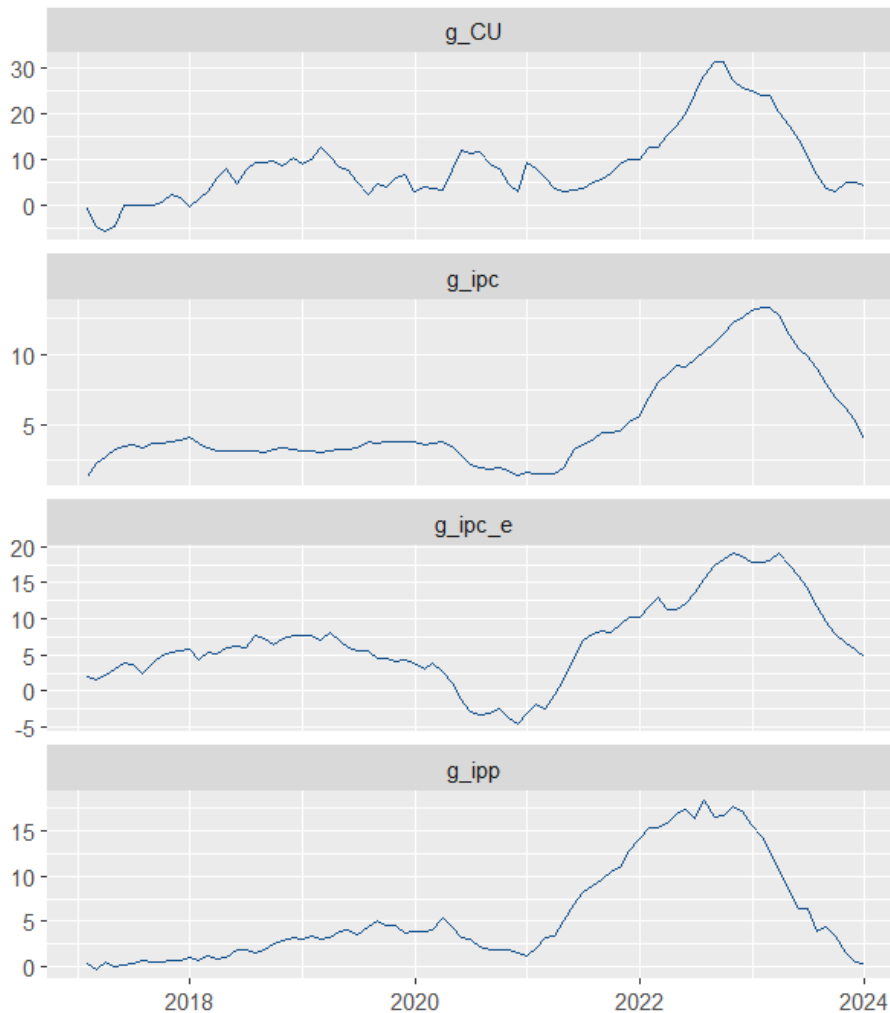
Fuente: elaboración propia.

Al observar la imagen 9, pueden intuirse dos situaciones, la primera es que ninguna de las series muestra un comportamiento que corresponda a la estacionariedad débil y en el caso de que existan tendencias comunes pueden ser más evidentes entre el **IPC** total energía e **IPC_e** con **CU**. Por otro lado, una inquietud natural es cómo han evolucionado las tasas de crecimiento de los índices de precios (medidas de inflación) del precio de la energía.

Para dar respuesta a esa pregunta, se calculó la tasa de crecimiento mensual en términos de la variación con respecto al mismo mes del año anterior, para examinar las tendencias de largo plazo, tener una medida robusta a los patrones estacionales y que suavice la volatilidad, matemáticamente:

$$x_t = 100 \times \left(\frac{x_t - x_{t-12}}{x_{t-12}} \right) \quad (3)$$

Imagen:10 Tasas de crecimiento de los índices de precios y del precio de la energía eléctrica.



En la imagen 10, se observan las tasas de crecimiento de las series que, para el caso de los precios de la energía eléctrica, empezaron una fase de incrementos sostenidos desde marzo 2021 hasta septiembre de 2023. Por otro lado, las medidas del IPC inician el ciclo de incrementos en febrero de 2021 hasta marzo del 2023, y para el IPP coincidió con la ventana enero de 2021 hasta enero de 2023. En buena medida el comportamiento se explica por la desaceleración económica, confinamiento y crisis sanitaria, y cuyos efectos se hicieron más visibles en el año 2020.

Como consecuencia de la atipicidad y desaceleración de la actividad económica durante 2020, desde el gobierno nacional se tomaron varias medidas que contribuyeron al control de la inflación como reducción de IVA para planes de teléfonos móviles, productos

de aseo, entre otros. En contraste, en 2021 el bloqueo realizado por gremio de transportadores de carga en pudo tener efectos en el incremento de la inflación, así como la devolución de algunos rubros de los días sin IVA y reaplicación del IVA para productos de aseo.

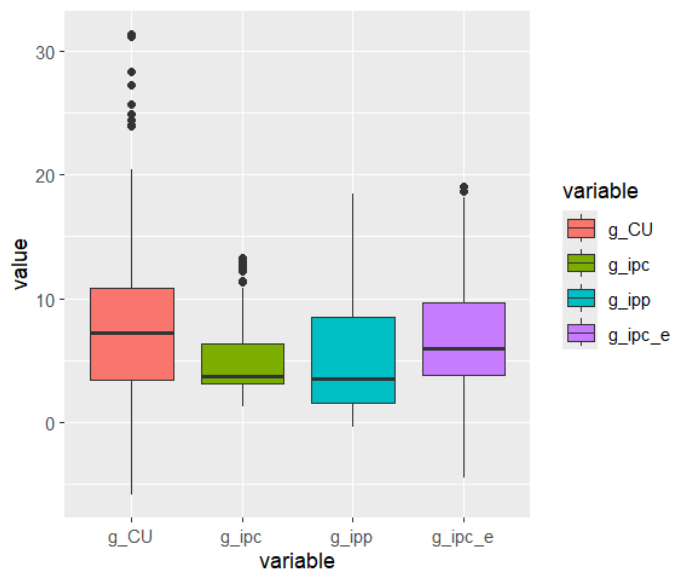
En cuanto a variabilidad de las tasas de crecimiento, la correspondiente a los precios energía (**gCU**) presentó variaciones entre el -5.8% y el 31.4% aproximadamente, con un número significativo de datos atípicos como se observa en diagrama de caja (imagen 3). También se observa que el 50% de la tasa de crecimiento de los precios de la energía toma valores entre 3.44% y el 10.81% (valores correspondientes al primer y tercer cuartil) como se observa en la tabla 1.

Por otro lado, **gCU** es asimétrica debido a que la cola la distribución es más larga hacia la derecha, mostrando más valores atípicos representados como tasas de crecimiento grandes como lo evidencia el coeficiente de asimetría de 1.064. En cuanto a forma de la distribución, la curtosis de 0.81 indica que su forma es leptocúrtica, es decir más achatada que una distribución normal y con más valores extremos en las colas.

Para la tasa de crecimiento del índice de precios al productor de oferta interna (**g_IPP**), no se observan valores atípicos, su variación mínima fue de -0.31% y su variación máxima de 18.5% , siendo la segunda serie con mayor variabilidad. También se observa que el 50% de las variaciones de **g_IPP** se encuentran entre el 1.58% y el 8.52% , como lo indican el primer y el tercer cuartil. En cuanto a la forma de la distribución, la asimetría de 1.045 y la curtosis de -0.32 , que señala de nuevo más valores extremos hacia la derecha y una distribución leptocúrtica.

Para el **IPC**, el valor mínimo fue de 1.29% y máximo de 13.28% aproximadamente y el 50% de las variaciones del **IPC** se encuentran entre 3.16% y el 6.32% . Por otro lado, los valores de la curtosis y asimetría señalan que los datos no siguen una distribución normal. En cuanto a la variación del índice de precios para la energía y los combustibles **g_IPC_e** presentó el mayor rango de oscilación de los índices precios, comprendidos entre -4.5% y el 19.04% , y al igual que las demás series su curtosis y asimetría muestra un comportamiento leptocúrtico.

Imagen:11 Diagramas de caja para las tasas de crecimiento de las series



Fuente: elaboración propia.

Modelos

Precio de la energía vs. Índices de precios

En la primera parte de la sección de modelos, se examina el comportamiento entre las tasas de crecimiento de los diferentes índices de precios (**gIPC**, **gIPC_e** y **gIPP**) con la tasa de crecimiento precio de la energía eléctrica (**gCU**) con modelos **VEC**, lo que implica revisar si las series son estacionarias, calcular su orden de integración y la existencia o no de cointegración.

Pruebas de hipótesis de raíces Unitarias

Tabla 2. Prueba de hipótesis de raíces unitarias para las series originales y sus tasas de crecimiento

ADF	CU	ipc	ipc_e	ipp	gCU	gipc	gipc_e	gipp
Estadístico	1,93	-2,43	2,09	2,503	-3,054	-1,15	-2,173	-2,079
P-valor	0,6045	0,3995	0,539	0,3694	0,1435	0,909	0,5048	0,5435
KPSS								
Estadístico	0,911	1,17	0,775	1,119	0,141	0,222	0,168	0,362
P-valor	0,01	0,01	0,01	0,01	0,1	0,1	0,1	0,0933

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con la tabla 2, al realizar la prueba de hipótesis **Aumentada de Dickey-Fuller** se encontró que las series originales **IPC**, **IPP** y **CU** no son débilmente estacionarias, en particular presentan raíces unitarias, puesto que, para ningún nivel de confianza razonable, puede rechazarse la hipótesis nula de raíces unitarias.

En cuanto a la prueba aumentada de Dickey Fuller **ADF**, para ninguna de las series se puede rechazar la hipótesis nula de raíces unitarias. En cuanto a la prueba de raíces unitarias de Kawaiatkowski, Phillips, Schmidt & Shin (**KPSS**), se rechazó la hipótesis nula de estacionaria de las series.

Luego, para determinar si existía un orden de integración mayor a 1, se aplicó la prueba de Smeekes & Wijler (2020) y Smeekes & Wijler (2023), que mostró integración de segundo orden **I(2)** para todas las tasas de crecimiento. En ese sentido, debe calcularse la primera diferencia a las tasas de crecimiento y luego aplicar la prueba de cointegración de Johansen & Juselius (1990).

Pruebas de cointegración

Tabla 3. Resultados de las pruebas de cointegración de Johansen.

		Valores críticos		
	test	10pct	5pct	1pct
VEC1	test			
r <=1	1,29	7,52	9,24	12,97
r=0	21,49	13,75	15,67	20,2
VEC2	test			
r <=1	5.67			
r=0	17.56			
VEC3	test			
r <=1	6.89			
r=0	25.06			

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con la prueba de cointegración de Johansen & Juselius (1990), como se observa en la tabla 3, las series que representan la primera diferencia de las tasas de crecimiento de los índices de precios están cointegradas con la primera diferencia de las tasas de crecimiento de los precios de la energía eléctrica, por lo cual se procede a modelar la estructura con modelos **VEC**. Así la forma de la cointegración que resultó más parsimoniosa, robusta y con mejor ajuste es la que posee una constante y no incorpora tendencia en el vector de cointegración.

Profundizando en los resultados de la prueba de hipótesis de cointegración de Johansen (ver tabla 3), a un nivel de confianza del 95% se rechaza la hipótesis nula de que las series no estén cointegradas $\mathbf{r} = \mathbf{0}$ y que puedan representarse con un modelo **VAR** en primeras diferencias. Por otro lado, no se rechaza la hipótesis nula de existencia de un vector de cointegración $\mathbf{r} \leq \mathbf{1}$.

VEC1, cointegración entre diferencia de la tasa de crecimiento del IPC total (dg_IPC) con la primera diferencia de la tasa de crecimiento de los precios de la energía (dg_CU)

Tabla 4. Resultados VEC1 dg_IPC vs dg_CU

vec IPC CU					ecuación (6)				
ecuación (5)					ecuación (6)				
Variables	coeficientes	error estandar	t-calculado	p-valor	Variables	coeficientes	error estandar	t-calculado	p-valor
ect	-0.6970	0.220	-3.160	0.002	ect	0.107	0.033	3.212	0.002
D	-0.436	0.441	-0.989	0.325	D	-0.083	0.067	-1.242	0.218
dg_CU.d11	-0.656	0.118	-5.533	5.45e-07	dg_CU.d11	0.029	0.018	1.646	0.104
dg_IPC.d11	-0.200	0.754	-0.265	0.791	dg_IPC.d11	-0.472	0.114	-4.121	0.000
dg_CU.d12	-0.719	0.145	-4.956	5.04e-06	dg_CU.d12	0.013	0.022	0.624	0.534
dg_IPC.d12	0.793	0.791	1.003	0.319	dg_IPC.d12	-0.37	0.120	-3.153	0.002
dg_CU.d13	-0.604	0.173	-3.483	0.000	dg_CU.d13	0.036	0.026	1.391	0.168
dg_IPC.d13	0.670	0.790	0.847	0.399	dg_IPC.d13	-0.298	0.120	-2.485	0.015
dg_CU.d14	-0.855	0.191	-4.476	2.97e-05	dg_CU.d14	0.052	0.029	1.812	0.074
dg_IPC.d14	1.817	0.780	2.328	0.0228	dg_IPC.d14	-0.329	0.118	-2.776	0.007
R cuadrado ajustado	0.3424	P-valor prueba F	1,7*10 ⁻⁵		R cuadrado ajustado	0.2113	P-valor prueba F	0.002	

Fuente: elaboración propia.

Entre la primera diferencia de la tasa de crecimiento del precio de la energía eléctrica dg_CU y la primera diferencia de la tasa de crecimiento de los precios de la energía dg_IPC se encontró que el número de rezagos óptimos fue cinco y que de acuerdo con la prueba de cointegración de Johansen la relación de largo plazo puede expresarse como lo muestra la ecuación (4):

$$dgCU_{t-5} = -2.274dg_IPC_{t-5} - 0.085const \quad (4)$$

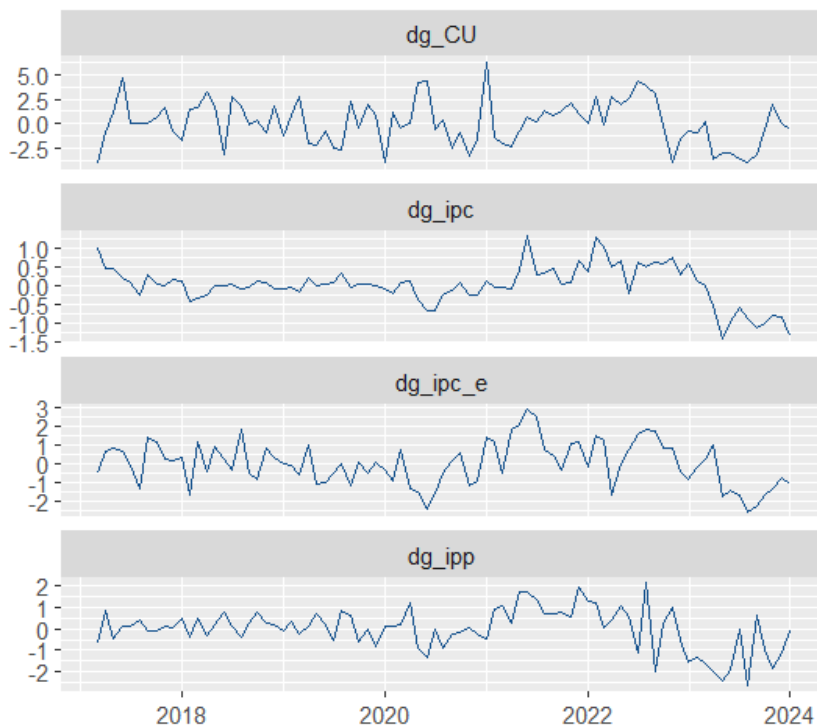
Allí, el vector de cointegración β , en su forma transpuesta está representado por $\beta' = [1, -2.274, . -0.085]$ y

$$y_t = \begin{bmatrix} dgCu \\ dgIPC_t \\ const \end{bmatrix}$$

Entonces, $\beta'y_t = 0$ y la matriz de coeficientes de ajuste es:

$$\alpha = \begin{bmatrix} -0.679 & -0.0135 & -9.99 \times 10^{-19} \\ 0.107 & -0.002 & 2.073 \times 10^{-19} \end{bmatrix}$$

Imagen:12 Primera diferencia de las tasas de crecimiento de los índices de precio y del precio de la energía eléctrica.



Fuente: elaboración propia.

Entonces, $\beta' \mathbf{y}_t = 0$ y la matriz de coeficientes de ajuste

$$\alpha = \begin{bmatrix} -0.679 & -0.0135 & -9.99 \times 10^{-19} \\ 0.107 & -0.002 & 2.073 \times 10^{-19} \end{bmatrix}$$

El primer renglón de la matriz α , corresponde a los coeficientes de ajuste de \mathbf{g}_{CU} y el segundo renglón a los coeficientes de ajuste de \mathbf{g}_{IPC} , donde se observa, por la magnitud de los coeficientes, que la variación de la diferencia de tasa de crecimiento de los precios de la energía eléctrica se ajusta mucho más rápido al equilibrio de largo plazo, que la del índice de precios al consumidor.

El modelo **VEC** tomo la siguiente forma, ecuación (5):

$$\begin{aligned} \Delta dgCU_t = & ect1 + D + \gamma_{1,1} dg\Delta CU_{t-1} + \gamma_{1,2} dgIPC_{t-1} + \gamma_{1,3} dg\Delta CU_{t-2} + \gamma_{1,4} \Delta dgIPC_{t-2} \\ & + \gamma_{1,5} dg\Delta CU_{t-3} + \gamma_{1,6} \Delta dgIPC_{t-3} + \gamma_{1,7} dg\Delta CU_{t-4} + \gamma_{1,8} \Delta dgIPC_{t-4} \\ & + const + \varepsilon_{1,t} \quad (5) \end{aligned}$$

donde D es una variable Dummy² que toma el valor de 1 a partir de enero de 2022 y cero en cualquier otro caso, ect es el vector de corrección de errores para la diferencia de las tasas de crecimiento de los precios de la energía. En cuanto al IPC se representa por (6):

$$\begin{aligned}
 dg\Delta IPC_t = & ect2 + D + \gamma_{2,1}dg\Delta CU_{t-1} + \gamma_{2,2}dgIPC_{t-1} + \gamma_{2,3}dg\Delta CU_{t-2} + \gamma_{2,4}\Delta dgIPC_{t-2} \\
 & + \gamma_{2,5}dg\Delta CU_{t-3} + \gamma_{2,6}\Delta dgIPC_{t-3} + \gamma_{2,7}dg\Delta CU_{t-4} + \gamma_{2,8}\Delta dgIPC_{t-4} \\
 & + const + \varepsilon_{2,t} \quad (6)
 \end{aligned}$$

Los resultados de la estimación, reportados en la tabla 4, muestran para la ecuación (5) que aproximadamente el 34.24%, de las variaciones de la segunda diferencia de la tasa de crecimiento de los precios de la energía eléctrica son explicadas por la variación conjunta de las variables explicativas. Individualmente, el vector de corrección de errores, el cuarto rezago de la segunda diferencia de la tasa de crecimiento del **IPC** y todos los rezagos de la segunda diferencia de la tasa de crecimiento de los precios de la energía son estadísticamente significativos.

Para la ecuación (6), todos los rezagos de la segunda diferencia de la tasa de crecimiento del IPC son estadísticamente significativos y únicamente el cuarto rezago de la segunda diferencia del precio de la energía eléctrica CU. En cuanto al ajuste del modelo, aproximadamente del 21.13% de las variaciones en el **dgIPC** son explicadas por variaciones conjuntas de las variables explicativas. El nivel de ajuste del primer **VEC** tiene sentido, dado que hay muchos más factores que influyen en las dinámicas del IPC y del precio la energía eléctrica.

² Se utiliza la misma variable Dummy para los tres modelos VEC.

VEC2, cointegración entre la diferencia de la tasa de crecimiento del IPC de energéticos (dg_IPC_e) con la primera diferencia de la tasa de crecimiento de los precios de la energía (dg_CU)

Tabla 5. Resultados VEC2 $dgIPC_e$ vs dg_CU

vec IPCe vs CU ecuación (8)					vec IPCe vs CU ecuación (9)				
Variables	coeficientes	error estandar	t-calculado	p-valor	Variables	coeficientes	error estandar	t-calculado	p-valor
ect	-0.624	0.1754	-3.560	0.000	ect	0.242	0.075	3.231	0.001
D	-0.177	0.4388	-0.405	0.687	D	-0.112	0.188	-0.596	0.553
$dg_CU.d11$	-0.633	0.1110	-5.705	2.49e-07	$dg_CU.d11$	0.197	0.047	4.159	8.83e-05
$dg_IPC.d11$	0.224	0.274	0.819	0.415	$dg_IPC.d11$	-0.495	0.117	-4.209	7.38e-05
$dg_CU.d12$	-0.658	0.145	-4.540	2.24e-05	$dg_CU.d12$	0.0298	0.062	0.480	0.632
$dg_IPC.d12$	0.173	0.277	0.624	0.534	$dg_IPC.d12$	-0.439	0.118	-3.696	0.000
$dg_CU.d13$	-0.450	0.161	-2.785	0.006	$dg_CU.d13$	0.174	0.069	2.517	0.014
$dg_IPC.d13$	0.153	0.288	0.530	0.597	$dg_IPC.d13$	-0.337	0.123	-2.728	0.008
R cuadrado ajustado	0.3113	P-valor prueba F	2,23E-02		R cuadrado ajustado	0.4053	P-valor prueba F	2,14E-04	

Fuente: elaboración propia.

Entre la tasa de crecimiento del precio de la energía eléctrica dg_CU y la primera diferencia de la tasa de crecimiento del IPC de energéticos dg_IPC_e , se encontró que el número de rezagos óptimos fue de cuatro. De acuerdo con la prueba de cointegración de Johansen la relación de largo plazo puede expresarse como se muestra en (7):

$$CU_{t-4} = -1.169IPCe_{t-4} - 0.009const \quad (7)$$

donde el vector de cointegración β , es $\beta' = [1, -1.169, -0.009]$ y

La matriz de coeficientes de ajuste es:

$$\alpha = \begin{bmatrix} -0.624 & -0.009 & 4.469 \times 10^{-18} \\ 0.249 & -0.045 & 2.935 \times 10^{-8} \end{bmatrix}$$

Los coeficientes de ajuste muestran que la segunda diferencia de las tasas de crecimiento de los precios de la energía dg_CU convergen mucho más rápido al equilibrio de largo plazo. En contraste, la convergencia para la primera diferencia de la tasa de crecimiento del IPC de energéticos es débil.

La representación **VEC** se representa por (8)

$$\begin{aligned} dg\Delta CU_t = & ect3 + D + \gamma_{3,1}dg\Delta CU_{t-1} + \gamma_{3,2}\Delta dgIPCe_{t-1} + \gamma_{3,3}dg\Delta CU_{t-2} \\ & + \gamma_{3,4}\Delta dgIPCe_{t-2} + \gamma_{3,5}dg\Delta CU_{t-3} + \gamma_{3,6}\Delta dgIPCe_{t-3} + const \\ & + \varepsilon_{3,t} \quad (8) \end{aligned}$$

Y el IPC_e es representado por (9):

$$\begin{aligned} \Delta dgIPCe_t = & ect4 + D + \gamma_{4,1}dg\Delta CU_{t-1} + \gamma_{4,2}\Delta dgIPCe_{t-1} + \gamma_{4,3}dg\Delta CU_{t-2} \\ & + \gamma_{4,4}\Delta dgIPCe_{t-2} + \gamma_{4,5}dg\Delta CU_{t-3} + \gamma_{4,6}\Delta dgIPCe_{t-3} + const \\ & + \varepsilon_{4,t} \quad (9) \end{aligned}$$

De acuerdo con el R cuadrado ajustado, el 31.13%, de las variaciones en la segunda diferencia de la tasa de crecimiento de los precios de la energía eléctrica (ecuación 8), están explicadas por variaciones conjuntas de las variables explicativas del modelo. En cuanto al aporte individual, únicamente la ecuación de corrección del error y los rezagos de la segunda diferencia de la tasa de crecimiento de la energía eléctrica son estadísticamente significativos.

En contraste, en la ecuación para la segunda diferencia de la tasa de crecimiento del IPC de energéticos (ecuación 9) tiene un R cuadrado ajustado de 0.4053, lo que significa que aproximadamente el 40.53% de las están explicadas por variaciones conjuntas del vector de corrección de errores, de los rezagos uno al tres de la segunda diferencia de las tasas de crecimiento de los precios de la energía. Es decir, es evidente el impacto de las variaciones del precio de la energía en sobre el IPC de energéticos, lo cual se esperaba por la construcción del índice.

VEC3, cointegración entre diferencia de la tasa de crecimiento del IPP (dg_IPP) con la primera diferencia de la tasa de crecimiento de los precios de la energía (dg_CU)

Tabla 6. Resultados VEC3 dg_IPP vs dg_CU

ecuación (11)					ecuación (12)				
VARIABLES	coeficientes	error estandar	t-calculado	p-valor	VARIABLES	coeficientes	error estandar	t-calculado	p-valor
ect	-0.891	0.216	-4.125	0.000	ect	0.055	0.092	0.597	0.552
D	0.301	0.402	0.751	0.455	D	-0.227	0.172	-1.317	0.192
dg_CU.d11	-0.789	0.123	-6.412	1.60e-08	dg_CU.d11	-0.059	0.052	-1.120	0.266
dg_IPC.d11	0.246	0.291	0.847	0.400	dg_IPC.d11	-0.900	0.125	-7.188	6.51e-10
dg_CU.d12	-0.847	0.158	-5.347	1.13e-06	dg_CU.d12	0.026	0.068	0.387	0.699
dg_IPC.d12	0.914	0.384	2.380	0.0201	dg_IPC.d12	-0.571	0.165	-3.461	0.000
dg_CU.d13	-0.741	0.186	-3.989	0.000	dg_CU.d13	0.006	0.079	0.087	0.930
dg_IPC.d13	1.309	0.398	3.282	0.001	dg_IPC.d13	-0.149	0.171	-0.870	0.387
dg_CU.d14	-0.993	0.195	-5.078	3.18e-06	dg_CU.d14	0.083	0.084	0.996	0.322
dg_IPC.d14	1.646	0.354	4.648	1.59e-05	dg_IPC.d14	-0.016	0.152	-0.111	0.911
R cuadrado		P-valor prueba			R cuadrado		P-valor prueba		
ajustado	0.4417	F	1,34E-04		ajustado	0.4403	F	1,44E-04	

Fuente: elaboración propia.

Entre la tasa de crecimiento del precio de la energía eléctrica dg_CU y la primera diferencia de la tasa de crecimiento del índice de precios al productor (dg_IPP), se encontró que el número de rezagos óptimos fue de cinco. De acuerdo con la prueba de cointegración de Johansen la relación de largo plazo puede expresarse como se representa en (10):

$$CU_{t-5} = -1.513IPP_{t-5} - 0.081const \quad (10)$$

Donde el vector de cointegración transpuesto es $\beta' = [1, -1.151, -0.081]$ y

La matriz de coeficientes de ajuste α

$$\alpha = \begin{bmatrix} -0.891 & 0.078 & 5.627 \times 10^{-19} \\ 0.055 & -0.035 & -8.842 \times 10^{-18} \end{bmatrix}$$

De allí que, la forma del **VEC** puede expresarse como lo muestran las ecuaciones (11) y (12):

$$\begin{aligned} dg\Delta CU_t = & ect5 + D + \gamma_{5,1}\Delta dgCU_{t-1} + \gamma_{5,2}dgIPP_{t-1} + \gamma_{5,3}dg\Delta CU_{t-2} + \gamma_{5,4}\Delta dgIPP_{t-2} \\ & + \gamma_{5,5}\Delta dgCU_{t-3} + \gamma_{5,6}\Delta dgIPP_{t-3} + \gamma_{5,7}\Delta dgCU_{t-4} + \gamma_{5,8}\Delta dgIPP_{t-4} \\ & + const + \varepsilon_{5,t} \quad (11) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta dgIPP_t = & ect5 + D + \gamma_{6,1}\Delta dgCU_{t-1} + \gamma_{6,2}dgIPP_{t-1} + \gamma_{6,3}dg\Delta CU_{t-2} + \gamma_{6,4}\Delta dgIPP_{t-2} \\ & + \gamma_{6,5}\Delta dgCU_{t-3} + \gamma_{6,6}\Delta dgIPP_{t-3} + \gamma_{6,7}\Delta dgCU_{t-4} + \gamma_{6,8}\Delta dgIPP_{t-4} \\ & + const + \varepsilon_{6,t} \quad (12) \end{aligned}$$

En los resultados para la estimación de la ecuación (11), se observa que, aproximadamente el 44.17% de la variación en la segunda diferencia de las tasas de crecimiento de los precios de la energía eléctrica es explicadas por la variación conjunta de las variables explicativas. Individualmente, todas las variables son estadísticamente significativas a excepción de la variable Dummy y del primer rezago de la segunda diferencia de la tasa de crecimiento del IPP.

En contraste, la ecuación (12), el modelo para la segunda diferencia de la tasa de crecimiento del IPP, únicamente son estadísticamente significativos los parámetros correspondientes sus dos primeros rezagos, lo que sugiere que esta variable se podría modelar mejor con una estructura $AR(2)$ en lugar de un **VEC**.

Pruebas de hipótesis a los errores de los modelos VEC

Tabla 7. P valores pruebas de hipótesis para los errores de los modelos VEC

	VEC1	VEC2	VEC3
Normalidad	0.09205	0.9103	0.3681
Correlación serial	0.3291	0.1848	0.1157
Efectos ARCH	0.7837	0.8308	0.1134

Fuente: elaboración propia.

Los errores de los modelos VEC son bien comportados, puesto que los p-valores de las pruebas de hipótesis³ de normalidad, heterocedasticidad condicional y correlación serial son mayores al 5%, lo que indica que ellos siguen una distribución normal, no presentan volatilidad condicional, ni componentes autorregresivos.

Crecimiento de la demanda de energía vs crecimiento económico

Con el objetivo de explicar la relación entre la demanda de energía eléctrica y el PIB, fue necesario organizar los datos de tal forma que tuvieran la misma frecuencia. En ese orden de ideas, para la demanda de energía eléctrica (regulada y no regulada) se partió de una serie mensual para Antioquia, Bogotá y Caribe Mar, obteniendo un promedio mensual y luego se calculó la tasa de crecimiento para todos los meses en comparación con el mismo mes del año inmediatamente anterior.

Luego, se calculó el promedio de la variación de la demanda de energía eléctrica (regulada y no regulada) cada tres meses para crear la serie de crecimiento trimestral y tener la misma frecuencia que el PIB. Para esta variable de actividad económica, se computó la tasa de crecimiento de los trimestres con respecto al mismo trimestre del año anterior.

³ Recuérdese que, en estas pruebas de hipótesis, la hipótesis nula corresponde al buen comportamiento de los errores, es decir, normalidad, no efectos ARCH ni de correlación serial.

Imagen:13 Tasas de crecimiento de la demanda de energía eléctrica (regulada y no regulada) y del PIB.



Fuente: elaboración propia.

En la imagen 13, se observa que en el periodo comprendido entre el primer trimestre de 2018 y el segundo del 2023, las tasas de crecimiento de la demanda de energía eléctrica y el crecimiento del PIB (**gpib**) son sincrónicas. En particular, la similitud es más fuerte para el crecimiento de la demanda no regulada (**gn_reg**). Sumado a ello, en el periodo más fuerte de la crisis sanitaria, es decir, entre el primer trimestre de 2020 y el segundo de 2022, las tasas de crecimiento de la demanda de energía no regulada y del PIB fueron virtualmente idénticas.

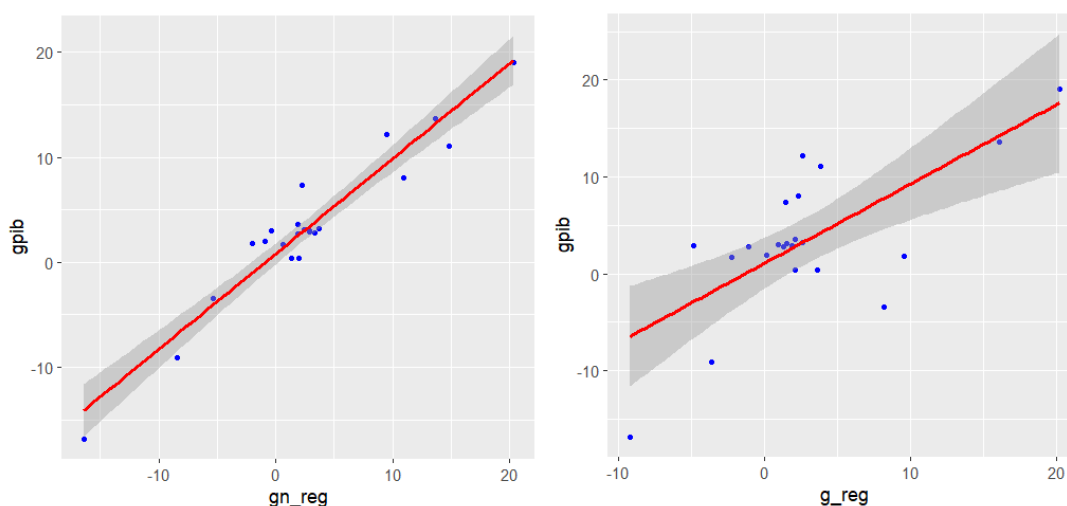
Tabla 8. Estadísticos descriptivos para las tasas de crecimiento trimestral del PIB (**gpib**), demanda no regulada (**gn_regulado**) y demanda regulada (**g_regulado**)

Estadístico/serie	gn_regulado	g_regulado	gpib
Min	-16.419	-9.220	-16.801
1er Q	-0.117	0.367	1.737
Mediana	2.103	2.020	2.923
Media	2.764	2.720	3.294
3r Q.	3.636	3.388	6.390
Max	20.361	20.238	19.040
Asimetría	0.012	1.051	-0.476
Curtosis	0.8153	1.621	1.452

Fuente: elaboración propia.

En este sentido, el rango en que variaron las tasas (ver tabla 8) de crecimiento de la demanda no regulada y el PIB fue muy similar y estuvo entre el -16% y el 19% aproximadamente, mientras que la demanda regulada (**g_reg**) varió entre el -9% y el 20% aproximadamente. La mayor similitud entre las variaciones de la demanda no regulada y las variaciones del PIB se debe a que, por definición los usuarios no regulados son las grandes industrias, por tanto, su demanda de energía eléctrica depende en gran medida de las variaciones de los indicadores de la actividad económica entre los sectores industrial y el PIB.

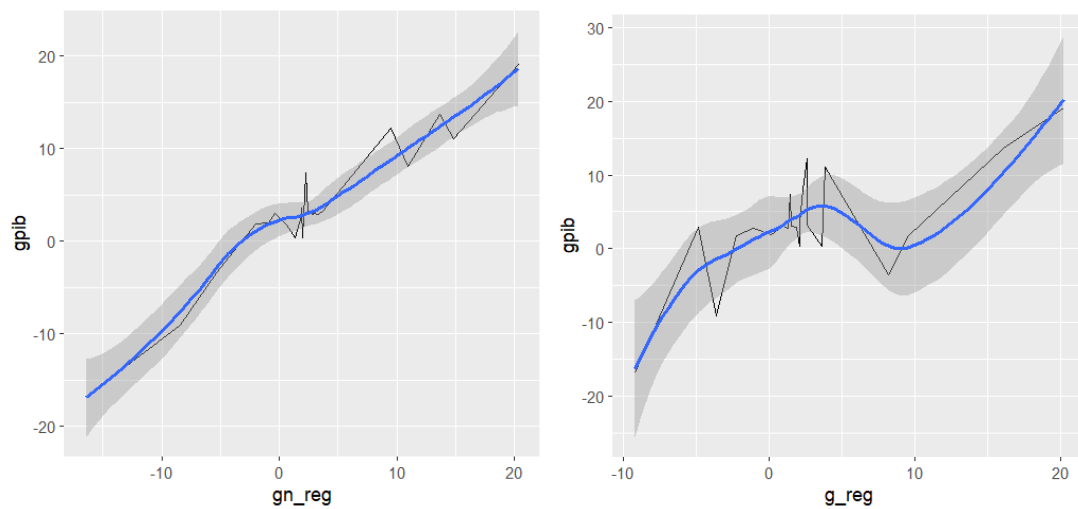
Imagen:14 Tasas de crecimiento del PIB en función del crecimiento de la demanda no regulada (panel derecho) y la regulada (panel izquierdo)



Fuente: elaboración propia.

La imagen 14 muestra que la tasa de crecimiento de la demanda de energía eléctrica (regulada y no regulada) parece seguir una relación lineal con el PIB. Sin embargo, los intervalos de confianza generados por Bootstrapping son más amplios en el caso de la demanda regulada (panel izquierdo), lo que indica mayor incertidumbre. Existe la posibilidad de que la relación entre el crecimiento económico y de la demanda de energía sea no lineal, como se observa en la imagen 15. Bajo esa aproximación, se observa mejor ajuste para el crecimiento de la demanda regulada y del PIB.

Imagen:15 Aproximación no lineal para Tasas de crecimiento del PIB en función del crecimiento de la demanda no regulada (panel derecho) y la regulada (panel izquierdo)



Fuente: elaboración propia

Aunque se estimaron dos modelos de regresión lineal para examinar el comportamiento entre el crecimiento de la demanda de energía eléctrica y del PIB no se reportan porque al final se terminó con una muestra de 20 observaciones, que es demasiado pequeña para hacer inferencia estadística, especialmente en lo concerniente a las pruebas de hipótesis de significancia individual de los parámetros o del modelo, sobre el comportamiento de los errores, de raíz unitaria o de cointegración. Sumado a ello, no fue posible aumentar la muestra dado que **XM** no desagrega los datos de energía eléctrica antes de enero de 2017.

8. Conclusiones

Este trabajo responde a la pregunta si ¿Existe correlación entre el costo unitario de la energía eléctrica y los factores económico como el IPC, IPP y el PIB que afectan las tarifas de energía eléctrica en Colombia?

Encontrando una correlación significativa entre el costo unitario de la energía eléctrica (CU) y los factores económicos analizados (IPC y IPP). Las series en primera diferencia de las tasas de crecimiento de los índices de precios están cointegradas con la primera diferencia de las tasas de crecimiento de los precios de la energía eléctrica, por tanto, se procede a modelar la estructura con modelos **VEC**. En particular, las pruebas de cointegración y los modelos de corrección de errores (VEC) evidencian que las variaciones en el Índice de Precios al Consumidor (IPC) y el Índice de Precios al Productor (IPP) tienen un impacto directo en el comportamiento de las tarifas de la energía eléctrica, lo que sugiere que la inflación y la estructura de costos de producción influyen en los precios del servicio eléctrico a nivel nacional. Lo anterior confirma la existencia de una relación causal de largo plazo.

Además, se identificó una correlación positiva entre el crecimiento del PIB y el consumo de energía eléctrica, especialmente en el sector no regulado (grandes consumidores de energía eléctrica). El análisis muestra que el aumento en la actividad económica incrementa la demanda de energía, lo que a su vez puede ejercer presión sobre los precios de la energía. Estos resultados reafirman la relevancia de la prospección del sector eléctrico en función del crecimiento económico del país.

9. Bibliografía Y Fuentes De Información

Acín Coello de Portugal, C. (2022). *La Causalidad de Granger en el análisis y la previsión de series temporales clásicas, de intervalo y de historiograma. Aplicación de mercados financieros*. Obtenido de Universidad Pontificia Comillas:
<http://hdl.handle.net/11531/62362>

Banco de la República de Colombia. (27 de Enero de 2023). *Informe de Política Monetaria*. Obtenido de Banco de la República de Colombia:
<https://repositorio.banrep.gov.co/bitstream/handle/20.500.12134/10591/informe-politica-monetaria-enero-2023.pdf>

Breusch, T. S. (1978), Testing for autocorrelation in dynamic linear models, *Australian Economic Papers*, 17: 334-355.

Caballero Espinosa, A. F. (2023). Análisis de indicadores asociados a la indexación de tarifas eléctricas en Colombia. Universidad de los Andes.
<https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/cc0a957b-c0d6-4384-b368-a16d3db7de4f/content>

Caicedo García, E., Sarmiento Sarmiento, J. D., & Hernández Ortega, R. (2020). *Inflación y covid-19: un ejercicio para Colombia*. (R. d. Rosario, Editor)
 doi:<https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/economia/a.12258>

Cardona Correa, A. J., & Ponce Bernal, F. d. (29 de Mayo de 2007). *Fallos de la regulación y su incidencia en la comercialización minorista de energía y las tarifas finales cobradas a los usuarios residenciales en el departamento de Antioquia, 1997 - 2005*. Obtenido de <https://repository.eafit.edu.co/server/api/core/bitstreams/643250f4-b6c7-4409-b7fd-a1009a1b5aa1/content>

Casallas Buitrago, C. E. (s.f.). *Revisión del marco tarifario colombiano para la implementación de mecanismos de respuesta de la demanda*. Obtenido de Universidad del Rosario: <https://repository.urosario.edu.co/server/api/core/bitstreams/63ac1ac1-264a-415a-b744-7a7879a3e6c8/content>

Colprensa. (07 de Septiembre de 2022). *¿A qué se deben las alzas de la tarifa de energía?* Obtenido de <https://www.canalinstitucional.tv/noticias/incremento-tarifa-de-energia-colombia>

Corficolombiana. (2022). *Inflación de precios de energía e indexación en Colombia*. Bogotá.

DANE. (2022). *Índice de precios del productor (IPP) Históricos*. Obtenido de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/precios-y-costos/indice-de-precios-del-productor-ipp/ipp-historicos>

DANE. (06 de Enero de 2023). *Actualícese - IPC del año 2022*. Obtenido de <https://actualicese.com/ipc-2022/>

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (Octubre - Diciembre de 2022). *Producto Interno Bruto*. Obtenido de Boletín Técnico:

https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/pib/bol_PIB_IVtrim22_produccion_y_gasto.pdf

Dornbusch, R., & Fischer, S. &. (2009). *Macroeconomía*. México: McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. DE C.V. Obtenido de https://elianascialabba.wordpress.com/wp-content/uploads/2017/01/macro_macroeconomia.pdf

Doornik, J. A. and D. F. Hendry (1997), *Modelling Dynamic Systems Using PcFiml 9.0 for Windows*, International Thomson Business Press, London.

Edgerton, D. and Shukur, G. (1999), Testing autocorrelation in a system perspective, *Econometric Reviews*, 18: 43-386.

Engle, R. F. (1982), Autoregressive conditional heteroscedasticity with estimates of the variance of United Kingdom inflation, *Econometrica*, 50: 987-1007.

Figueroa Castro, A. C., & Mojica, J. L. (28 de Febrero de 2023). *Actualidad en el sector energético colombiano*. Obtenido de https://investigaciones.corfi.com/analisis-sectorial-y-sostenibilidad/perspectiva-sectorial-energia/actualidad-del-sector-energetico-colombiano/informe_1290865

Galindo Vargas, A. P. (2014). *La relación entre el consumo de electricidad y el crecimiento económico empleando un modelo para Chile*. Obtenido de file:///C:/Users/Desktop/Causalidad_ener%20e%20el%20A9ctrica.pdf

Godfrey, L. G. (1978), Testing for higher order serial correlation in regression equations when the regressors include lagged dependent variables, *Econometrica*, 46: 1303-1313.

Gómez Uribe, A. F. (21 de Julio de 2023). Proyecto de Grado. *ANÁLISIS DE INDICADORES ASOCIADOS A LA INDEXACIÓN DE TARIFAS ELÉCTRICAS EN COLOMBIA*. Colombia. Obtenido de <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/cc0a957b-c0d6-4384-b368-a16d3db7de4f/content>

Hamilton, J. (1994), *Time Series Analysis*, Princeton University Press, Princeton.

Lozano, I., & Rincón, H. (2010). *Formación de las tarifas eléctricas e inflación en Colombia*. Obtenido de Banco de la República: <https://repositorio.banrep.gov.co/server/api/core/bitstreams/4ed6c11a-2655-46ae-aa7f-010924d84533/content>

Jarque, C. M. and A. K. Bera (1987), A test for normality of observations and regression residuals, *International Statistical Review*, 55: 163-172.

Johansen, S. (1988), Statistical Analysis of Cointegration Vectors, *Journal of Economic Dynamics and Control*, 12, 231–254.

Johansen, S. and Juselius, K. (1990), Maximum Likelihood Estimation and Inference on Cointegration – with Applications to the Demand for Money, *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 52, 2, 169–210.

Johansen, S. (1991), Estimation and Hypothesis Testing of Cointegration Vectors in Gaussian Vector Autoregressive Models, *Econometrica*, Vol. 59, No. 6, 1551–1580.

Lütkepohl, H. (2006), *New Introduction to Multiple Time Series Analysis*, Springer, New York.

D. Kwiatkowski, P. C. B. Phillips, P. Schmidt, and Y. Shin (1992): Testing the Null Hypothesis of Stationarity against the Alternative of a Unit Root. *Journal of Econometrics* 54, 159–178.

Martínez Carrascal, C. (20 de Diciembre de 2022). *El impacto de la bolsa de ahorro acumulada por los hogares durante la pandemia sobre la evolución reciente del consumo y sobre sus perspectivas en el futuro*. Obtenido de Boletín Económico / Banco de España: <https://repositorio.bde.es/handle/123456789/24973>

Organización Latinoamericana de Energía - Olade. (9 de Mayo de 2024). Revista. *ENERLAC - Revista de Energía de América Latina y el Caribe*. ENERLAC. Obtenido de <https://enerlac.olade.org/index.php/ENERLAC>

Osterwald-Lenum, M. (1992), A Note with Quantiles of the Asymptotic Distribution of the Maximum Likelihood Cointegration Rank Test Statistics, *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 55, 3, 461–472.

Perasan, Hashem M. *Time series and Panal Data Econometrics* (2016). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198736912.001.0001>

Pérez Arroyave, J., Rojas León, E., Soto, J. P., & Correa, W. (s.f.). *La inflación colombiana: Una perspectiva empírica*. Obtenido de <https://revistas.udem.edu.co/index.php/economico/article/view/1416/1473>

Pinedo P, J., & Rico G, V. (2018). *La regulación de los subsidios al servicio domiciliario de luz eléctrica en la población vulnerable de Barranquilla*. Obtenido de <https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/131/22736895%20%20%201046266958.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Portafolio. (3 de Febrero de 2023). *Precios del productor empezaron el 2023 con un crecimiento menor*. Obtenido de Portafolio: <https://www.portafolio.co/economia/finanzas/indice-de-precios-al-productor-en-colombia-en-enero-de-2023-cifra-crecio-levemente-577956>

Quiroga, D. (Septiembre20 de 2023). *Análisis: ¿por qué no bajan las tarifas de energía en el país?* Obtenido de <https://www.portafolio.co/energia/en-colombia-por-que-no-bajan-las-tarifas-de-la-electricidad-en-el-pais-589247>

Rodríguez Rodríguez, D. (30 de Diciembre de 2022). Revista. *Los precios de la energía y la inflación: las medidas regulatorias y sus efectos*. España: ICE, Revista De Economía, (929). doi:<https://doi.org/10.32796/ice.2022.929.7525>

Rueda Ramírez, D., & Castro Jaramillo, S. (31 de Octubre de 2019). *Determinantes socioeconómicos de la vivienda propia en Colombia: Un análisis probabilístico a partir de los modelos de elección discreta para el año 2018*. Obtenido de <https://repository.eafit.edu.co/server/api/core/bitstreams/4a734e47-ecc0-481b-a058-e88145a024d4/content>

S. E. Said and D. A. Dickey (1984): Testing for Unit Roots in Autoregressive-Moving Average Models of Unknown Order. *Biometrika* 71, 599–607.

Smeekes, S. and Wilms, I. (2023). bootUR: An R Package for Bootstrap Unit Root Tests. *Journal of Statistical Software*, 106(12), 1-39.

Smeeke, S. and Wijler, E. (2020). Unit roots and cointegration. In P. Fuleky (Ed.) *Macroeconomic Forecasting in the Era of Big Data*, Chapter 17, pp. 541-584. *Advanced Studies in Theoretical and Applied Econometrics*, vol. 52. Springer.

Trillos González, C. I. (2012). *Una descripción de los cargos regulados en las tarifas de energía eléctrica vigentes en Colombia en 2012*. Obtenido de <https://repository.eafit.edu.co/server/api/core/bitstreams/2e817047-8465-4b09-9527-1e12aa4099aa/content>

Tsay, Ruey S. (2010). *Analysis of financial time series*. Jhon Wiley & Sons, Inc. Third edition.

UPME. (Junio de 2016). *Proyección de la demanda de energía eléctrica y potencia máxima en Colombia*. Obtenido de https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/HistoricoproyeccionesEE/2016/UPME_Proyeccion_Demanda_Energia_Electrica_Junio_2016.pdf

Velázquez, A. P. (s.f.). (2013) *Diplomado en Análisis de Información Geoespacial*. Obtenido de CANYCT: <https://centrogeo.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1012/158/1/14-Descripci%C3%B3n%20Bivariada%20-%20Diplomado%20en%20An%C3%A1lisis%20de%20Informaci%C3%B3n%20Geoespacial.pdf>

Villamizar Villamizar, J. D. (2 de Agosto de 2023). Tesis. *Índice de Pobreza Energética en Colombia*. Colombia. Obtenido de <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/1ff23075-2b10-4747-b1f2-24d76a3219ca/content>

XM. (19 de Enero de 2023). *En 2022. La demanda acumulada del año creció 3.34% en comparación con el 2021*. Obtenido de <https://www.xm.com.co/noticias/5541-en-2022-la-demanda-acumulada-del-ano-crecio-334-en-comparacion-con-el-2021>