



UNIVERSIDAD  
**NACIONAL**  
DE COLOMBIA

# **Análisis del comportamiento de precios de contratos de energía eléctrica para el mercado regulado en Colombia**

**Juan Camilo Cuartas Montoya**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Minas  
Área Curricular de Sistemas e Informática  
Medellín, Colombia  
2024



# **Análisis del comportamiento de precios de contratos de energía eléctrica para el mercado regulado en Colombia**

**Juan Camilo Cuartas Montoya**

Trabajo Final de Maestría presentado como requisito parcial para optar al título de:  
**Magister en Ingeniería - Analítica**

Director:

Juan David Velásquez Henao, MSc, PhD

Codirector:

Carlos Jaime Franco Cardona, MSc, PhD

Línea de Profundización

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Minas, Área Curricular de Sistemas e Informática  
Medellín, Colombia  
2024



## **Agradecimientos**

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por permitirme finalizar satisfactoriamente esta Tesis de Maestría.

A mi esposa Sara, mis hijos Emmanuel y Rafael y mi madre Berta, por su inmensa paciencia, apoyo constante en el desarrollo de esta tesis y en mi desarrollo profesional.

Al profesor Juan David Velásquez, por su acompañamiento, direccionamiento y enseñanzas como director de esta tesis y durante mi proceso de formación.

Al profesor Carlos Jaime Franco, por sus importantes comentarios y recomendaciones durante el desarrollo de esta tesis.

# Resumen

El mercado de energía colombiano ha evolucionado significativamente desde su creación, esforzándose por alcanzar transparencia, eficiencia y precios justos para todos los usuarios. Este mercado está dividido en demanda regulada, que incluye a usuarios residenciales, y demanda no regulada, que abarca la industria, usuarios de alto consumo y alumbrado público. Para satisfacer esta demanda, se han implementado diversos mecanismos en el Mercado de Energía Mayorista (MEM). En este trabajo, se propone analizar las variables que influyen en la formación de precios de los contratos para el mercado regulado y examinar los comportamientos de los agentes del mercado, utilizando diversas técnicas estadísticas que permiten identificar y comprender patrones en los datos, tales como métricas de dispersión, centralidad y tendencia central, así como métodos de agrupamiento y análisis de la variabilidad, distribución y relación entre variables.

El análisis revela que hasta el año 2020, los precios promedio de contratos para agentes sin situación de control eran superiores, pero esta tendencia se invierte a partir de 2021 con la implementación del Sistema de Información de Convocatorias Públicas (SICEP), sugiriendo que la regulación ha influido en los precios. La anticipación en la negociación de contratos reduce significativamente los precios promedio ponderados, destacando la importancia de la planificación. Los precios de contratos sin situación de control presentan mayor variabilidad, mientras que los de contratos con situación de control son más estables. Los agentes con alta participación en el mercado tienen precios más estables y por lo tanto, menor riesgo financiero. El precio de bolsa con 24 meses de anticipación impacta significativamente en los precios de los contratos, a diferencia de la volatilidad del precio de bolsa y fenómenos climáticos como El Niño y La Niña. La capacidad total de generación de energía es más determinante que la entrada de proyectos de generación renovable en la fijación de precios. Finalmente, la distribución de precios de los contratos varía según la capacidad de generación y la exposición en bolsa del agente, ya sea vendedor o comprador. Los agentes con baja participación en la capacidad de generación tienden a obtener precios más altos. Además, se observan fluctuaciones significativas en los precios a lo largo del tiempo debido a la exposición en bolsa, sin una tendencia constante.

**Palabras clave:** Precios de la electricidad, Contratos de energía, Mercado regulado, Variabilidad precios, Precio de Bolsa, Planificación de contratos, Dominancia de mercado.

# Analysis of the price behavior of electric power contracts for the regulated market in Colombia

## ABSTRACT

The Colombian electricity market has been evolved significantly since its creation, investing efforts aimed at achieving transparency, efficiency and fair prices for all users. This liberalized market has been divided into two groups of users: regulated demand, which includes residential users; and unregulated demand which includes industry, high consumption users and public lighting. To satisfy this demand, several mechanisms have been implemented in the Wholesale Energy Market (MEM). In this paper, we propose to analyze the variables that influence the price formation of contracts for the regulated market and to examine the behavior of market agents, using several statistical techniques to identify and understand patterns in the data, such as metrics of dispersion, centrality and central tendency, as well as methods of grouping and analysis of variability, distribution and relationship between variables.

The analysis reveals that until 2020, average contract prices for agents without control status were higher, but this trend is reversed as of 2021 with the implementation of the “Sistema de Información de Convocatorias Públicas” as known as SICEP, suggesting that the regulation implemented has influenced prices. Anticipation in contract negotiation significantly reduces weighted average prices, highlighting the importance of planning. The prices of contracts without control situation present greater variability, while those of contracts with control situation are more stable. Agents with high market participation have more stable prices and, therefore, lower financial risk. The spot price 24 months in advance has a significant impact on contract prices, unlike the volatility of the spot price and climatic phenomena such as El Niño and La Niña. The total power generation capacity is more significant than the entry of renewable generation projects in pricing. Finally, the distribution of contract prices varies according to the agent's generation capacity and stock market exposure, whether seller or buyer. Agents with low participation in generation capacity tend to obtain higher prices. In addition, there are significant fluctuations in prices over time due to stock market exposure, with no constant trend.

**Keywords:** Electricity prices, Energy contracts, Regulated market, Price variability, Spot price, Contract planning, Supply and demand dynamics, Market dominance.

## Contenido

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>12</b>
1.1 DEFINICIONES Y CONCEPTOS BÁSICOS	13
1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA DE NEGOCIO	14
1.3 REVISIÓN DE LITERATURA	16
1.3.1 <i>Metodología</i>	16
1.3.2 <i>Resultados y discusión</i>	17
1.4 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA DE ANALÍTICA	18
1.5 DISCUSIÓN	18
1.6 INFORMACIÓN UTILIZADA	21
1.7 HIPÓTESIS	21
1.8 OBJETIVOS	21
1.8.1 <i>Objetivo General</i>	21
1.8.2 <i>Objetivos Específicos</i>	21
1.9 METODOLOGÍA	22
1.10 MAPA DEL DOCUMENTO	22
<b>2. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS PRECIOS CONTRATADOS POR LAS EMPRESAS CON SITUACIÓN DE CONTROL.</b>	<b>24</b>
2.1 INTRODUCCIÓN	24
2.2 METODOLOGÍA	25
2.2.1 <i>Metodología para la Pregunta 1</i>	25
2.2.2 <i>Metodología para la Pregunta 2</i>	26
2.2.3 <i>Metodología para la Pregunta 3</i>	26
2.3 INFORMACIÓN UTILIZADA	26
2.4 PREPARACIÓN DE DATOS	27
2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
2.5.1 <i>P1) ¿Cómo han evolucionado los precios de contratos entre empresas con y sin situación de control?</i>	27
2.5.2 <i>P2) ¿Cuál es el impacto de la anticipación en la negociación de los precios de los contratos por año?</i>	30
2.5.3 <i>P3) ¿Cómo se distribuyen los precios de los contratos según la situación de control?</i>	33
2.6 CONCLUSIONES	42
<b>3. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE CONTRATACIÓN DE LOS AGENTES CON UNA PARTICIPACIÓN EN EL MERCADO SUPERIOR A LOS DEMÁS AGENTES.</b>	<b>44</b>
3.1 INTRODUCCIÓN	44
3.2 METODOLOGÍA	45
3.2.1 <i>Metodología para la Pregunta 1</i>	45
3.2.2 <i>Metodología para la Pregunta 2</i>	46
3.2.3 <i>Metodología para la Pregunta 3</i>	46
3.3 INFORMACIÓN UTILIZADA	46
3.4 PREPARACIÓN DE DATOS	46
3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	47

3.5.1	<i>P1) ¿Cuál es la diferencia de precios entre agentes con alta y baja participación en la demanda?</i>	47
3.5.2	<i>P2) ¿Cómo es la variabilidad en los precios de los agentes con alta y baja participación?</i>	49
3.5.3	<i>P3) ¿Cómo se distribuyen los precios de los contratos de los cuatro agentes que mayor demanda atienden?</i>	50
3.6	CONCLUSIONES	56
<b>4.</b>	<b>ANÁLISIS DE LAS RELACIONES ENTRE EL PRECIO DE CONTRATOS Y DIFERENTES VARIABLES DEL MERCADO QUE PUEDEN INFERIR EN LA FORMACIÓN DE LOS PRECIOS.</b>	<b>57</b>
4.1	INTRODUCCIÓN	57
4.2	METODOLOGÍA	58
4.2.1	<i>Metodología para las Preguntas 1, 2 y 3</i>	58
4.3	INFORMACIÓN UTILIZADA	59
4.4	PREPARACIÓN DE DATOS	59
4.5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	60
4.5.1	<i>Variables utilizadas</i>	60
4.5.2	<i>Modelo de regresión lineal</i>	60
4.5.3	<i>Variables independientes seleccionadas</i>	62
4.5.4	<i>Modelo de árboles de regresión</i>	63
4.5.5	<i>Comparación del modelo de regresión lineal y de árboles de regresión</i>	64
4.5.6	<i>P1) ¿Cómo afectan la volatilidad y expectativa del precio de bolsa a los precios de contratos en un periodo determinado?</i>	65
4.5.7	<i>P2) ¿Cuál es el impacto de fenómenos climáticos como El Niño o La Niña en los precios?</i>	66
4.5.8	<i>P3) ¿Influye la entrada de proyectos de generación renovable en los precios de los contratos?</i>	66
4.6	CONCLUSIONES	68
<b>5.</b>	<b>COMPARACIÓN DE LOS AGENTES DEL MERCADO, DE ACUERDO CON LOS PRECIOS Y PORCENTAJE DE CONTRATACIÓN.</b>	<b>70</b>
5.1	INTRODUCCIÓN	70
5.2	METODOLOGÍA	71
5.2.1	<i>Metodología para la Pregunta 1</i>	71
5.2.2	<i>Metodología para la Pregunta 2</i>	71
5.3	INFORMACIÓN UTILIZADA	71
5.4	PREPARACIÓN DE DATOS	72
5.5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	72
5.5.1	<i>P1) ¿Cómo es la distribución de precios de contratos según la capacidad de generación de las empresas?</i>	72
5.5.2	<i>P2) ¿Cómo es la distribución de los precios de los contratos según el porcentaje de exposición en bolsa del agente comprador?</i>	76
5.6	CONCLUSIONES	80
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>81</b>
6.1	CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS	81
6.1.1	<i>Objetivo Específico 1</i>	81
6.1.2	<i>Objetivo Específico 2</i>	82

6.1.3	<i>Objetivo Específico 3</i>	83
6.1.4	<i>Objetivo Específico 4</i>	84
6.2	TRABAJO FUTURO	85
<b>7.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>86</b>

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	Estadísticas descriptivas para los precios promedios ponderados .....	34
<b>Tabla 2.</b>	Prueba Estadística Comportamiento de Medias .....	48
<b>Tabla 3.</b>	Estadísticos de los modelos de regresión lineal y árboles de regresión .....	61
<b>Tabla 4.</b>	Pronósticos del precio promedio de contratos (COP/kWh) del modelo de regresión lineal y árbol de regresión .....	62
<b>Tabla 5.</b>	Variación anual (GWh) de la Capacidad Efectiva Neta por tipo de generación.	68
<b>Tabla 6.</b>	Prueba Estadística Comportamiento de Medias alta y baja participación en la Capacidad Efectiva Neta (COP/kWh) .....	74
<b>Tabla 7.</b>	Prueba Estadística Comportamiento de Medias alta y baja participación en la Exposición de Bolsa (COP/kWh) .....	78

## LISTA DE FIGURAS

<b>Fig. 1.</b> Distribución del Precio Promedio Ponderado por Año y Situación de Control ....	28
<b>Fig. 2.</b> Evolución del Precio Promedio Ponderado por Año y Situación de Control.....	29
<b>Fig. 3.</b> Distribución de la anticipación en registro contratos.....	31
<b>Fig. 4.</b> Resultado Modelo Regresión Lineal Múltiple.....	32
<b>Fig. 5.</b> Relación entre Anticipación y Precio Promedio Ponderado por Año.....	33
<b>Fig. 6.</b> Gráfico de dispersión de los precios promedio ponderados por situación de control .....	35
<b>Fig. 7.</b> Gráfico de densidad del precio promedio ponderado por situación de control ....	36
<b>Fig. 8.</b> Histograma de precios de contratos con y sin situación de control.....	37
<b>Fig. 9.</b> Histograma de precios de contratos con y sin situación de control 2015 .....	38
<b>Fig. 10.</b> Histograma de precios de contratos con y sin situación de control 2016 .....	38
<b>Fig. 11.</b> Histograma de precios de contratos con y sin situación de control 2017 .....	39
<b>Fig. 12.</b> Histograma de precios de contratos con y sin situación de control 2018.....	39
<b>Fig. 13.</b> Histograma de precios de contratos con y sin situación de control 2019 .....	40
<b>Fig. 14.</b> Histograma de precios de contratos con y sin situación de control 2020 .....	40
<b>Fig. 15.</b> Histograma de precios de contratos con y sin situación de control 2021 .....	41
<b>Fig. 16.</b> Histograma de precios de contratos con y sin situación de control 2022 .....	41
<b>Fig. 17.</b> Histograma de precios de contratos con y sin situación de control 2023 .....	42
<b>Fig. 18.</b> Distribución del Precio Promedio Ponderado por Año y Participación en la Demanda.....	47
<b>Fig. 19.</b> Desviación Estándar agentes con Alta y Baja participación.....	50
<b>Fig. 20.</b> Boxplot de Precios Promedio Ponderado agente Electricaribe .....	51
<b>Fig. 21.</b> Boxplot de Precios Promedio Ponderado agentes Air-e y Caribemar.....	52
<b>Fig. 22.</b> Boxplot de Precios Promedio Ponderado empresas de la región Caribe.....	53
<b>Fig. 23.</b> Boxplot de Precios Promedio Ponderado de las empresas Codensa y Enel ....	54
<b>Fig. 24.</b> Boxplot de Precios Promedio Ponderado agente EPM.....	55
<b>Fig. 25.</b> Resultados de modelo de regresión lineal y no lineal .....	64
<b>Fig. 26.</b> Residuos del modelo de regresión lineal y no lineal .....	65
<b>Fig. 27.</b> Distribución del Precio Promedio Ponderado por Año y Participación en la Capacidad Efectiva Neta .....	73
<b>Fig. 28.</b> Medias y Medianas Anuales del Precio Promedio Ponderado por Participación	75
<b>Fig. 29.</b> Distribución del Precio Promedio Ponderado por Año y Participación de la exposición en bolsa.....	77
<b>Fig. 30.</b> Medias y Medianas Anuales del Precio Promedio Ponderado por exposición bolsa .....	79

# 1. Introducción

En este capítulo se presenta la introducción del Trabajo Final de Maestría titulado "Análisis del comportamiento de precios de contratos de energía eléctrica para el mercado regulado en Colombia". En este trabajo se propone realizar un análisis de las variables que influyen en la formación de precios de los contratos y examinar los diversos comportamientos de los agentes del mercado en las contrataciones. Para ello, se adopta una variación de la metodología CRISP-DM, específicamente adaptada para el desarrollo de tesis de maestría y trabajos finales en analítica, reconocida por su eficacia en la extracción de valor de los datos (Haya, P., 2014), con el objetivo de garantizar un análisis sistemático y riguroso de las variables implicadas en la fijación de precios en el mercado eléctrico. En este capítulo se presenta el objetivo de este trabajo final. De esta forma, se plantearán las preguntas de negocio, equivalentes a las preguntas de investigación típicas en tesis y proyectos de generación de conocimiento, para analizar cómo los diferentes agentes se comportan durante el proceso de contratación.

El resto de este capítulo está organizado de la siguiente manera: La Sección 1.1 introduce las definiciones y conceptos básicos relevantes para nuestra discusión. Posteriormente, la Sección 1.2 detalla la definición del problema de negocio abordadas. En la Sección 1.3, se lleva a cabo una revisión de literatura pertinente al tema. La definición del problema de analítica se explora en la Sección 1.4, mientras que la Sección 1.5 discute las preguntas de negocio que surgen en este contexto. La información utilizada para el análisis se describe en la Sección 1.6. A continuación, la Sección 1.7 presenta la hipótesis del estudio. Los objetivos de la investigación se delinean en la Sección 1.8. La metodología empleada se explica detalladamente en la Sección 1.9. Finalmente, en la Sección 1.10, se presenta el mapa del documento, que ofrece una visión general de la estructura y el flujo del documento.

En esta tesis se analiza el comportamiento de los precios de los contratos de energía eléctrica en el mercado regulado de Colombia, destacando que los agentes con alta participación muestran una menor desviación estándar en sus precios, lo que implica mayor estabilidad y menor riesgo financiero, mientras que los agentes con baja participación experimentan mayor variabilidad y exposición a riesgos. Se observa una distribución variada de los precios a lo largo del tiempo, con fluctuaciones significativas y valores atípicos que reflejan eventos extraordinarios del mercado, influenciados por factores como la oferta, demanda y situaciones climáticas. A pesar de algunas diferencias en los precios entre agentes de alta y baja participación, estas no fueron consistentes a lo largo del tiempo, sugiriendo que otros factores también impactan la formación de precios. En resumen, el mercado eléctrico es volátil y complejo, lo que resalta la necesidad de estrategias robustas y adaptativas para gestionar la variabilidad y los riesgos asociados.

## 1.1 Definiciones y conceptos básicos

Las reglas y el funcionamiento del mercado de energía mayorista están definidos en las Leyes 142 y 143 de 1994, así como en la regulación emitida por la Comisión de Energía y Gas (CREG). Esta regulación estableció a la empresa XM S.A. E.S.P. (XM) como responsable de administrar el sistema de intercambios comerciales de energía eléctrica en el Mercado de Energía Mayorista (MEM), encargándose de las actividades necesarias para operar y administrar el mercado de energía colombiano.

De acuerdo con esto, resulta fundamental definir diversos conceptos relacionados con el funcionamiento del mercado de energía, los cuales serán utilizados a lo largo de este trabajo, y que se encuentran reglamentados en las regulaciones expedidas por la CREG:

- **Mercado de Energía Mayorista:** Es administrado por la empresa XM, donde se atienden las transacciones comerciales de los agentes del mercado. XM presta los siguientes servicios, conforme a lo establecido en la Resolución CREG 024 de 1995:
  - Registro de fronteras, es decir puntos de medición del sistema.
  - Registro y liquidación de contratos bilaterales de largo plazo.
  - Liquidación y facturación de los intercambios de la energía resultante entre los agentes que participan.
  - Recaudación del dinero producto de las transacciones.
  
- **Contrato de largo plazo:** Son contratos entre generadores y comercializadores que son pactados libremente con las condiciones, cantidades, y precios para la compra y venta de energía eléctrica a largo plazo (Resolución CREG 024 de 1995).
  
- **Bolsa de energía:** La bolsa de energía es gestionada por el Administrador del Sistema de Intercambios Comerciales, que forma parte de XM. Allí es donde los generadores y comercializadores del mercado mayorista ejecutan actos de intercambio de ofertas y demandas de energía, hora a hora, para que el Administrador del Sistema de Intercambios Comerciales ejecute los contratos resultantes en la bolsa de energía, y liquide, recaude y distribuya los valores monetarios correspondientes a las partes (Resolución CREG 054 de 1994).
  
- **Usuario de demanda regulada:** Persona natural o jurídica cuyas compras de electricidad están sujetas a las tarifas establecidas por la Comisión de Regulación de Energía y Gas. Este grupo incluye a la mayoría de los usuarios comerciales y oficiales, así como a los usuarios residenciales clasificados por estratos socioeconómicos, y a algunos sectores industriales (Resolución CREG 054 de 1994).
  
- **Usuario de demanda no regulada:** La persona natural o jurídica que demanda energía por encima de 0.1 MW o 55 MWh. Estos consumidores tienen la capacidad de negociar libremente los costos asociados a las actividades de generación y comercialización de energía. En este grupo se incluyen principalmente los sectores industriales y comerciales de alto consumo (Resolución CREG 131 de 1998).

- **Empresa generadora:** Es la empresa registrada ante el Administrador del SIC que realiza la actividad de generación de energía y representa a las plantas de generación que suministran energía al Sistema Interconectado Nacional (Resolución CREG 024 de 1995).
- **Empresa comercializadora:** Es la empresa registrada ante el Administrador SIC que realiza la comercialización de energía, y por lo tanto, la atención de los usuarios (Resolución CREG 024 de 1995).
- **Situación de control:** De acuerdo con lo dispuesto en el Numeral 4 del Artículo 45 del Decreto 2153 de 1992, se entiende como situación de control la posibilidad de influenciar directa o indirectamente la política empresarial, la iniciación o terminación de la actividad de la empresa o la disposición de los bienes o derechos esenciales para el desarrollo de la misma. Así mismo, hay situación de control en la relación entre la matriz y sus subordinadas (filiales y subsidiarias) en los términos señalados en los Artículos 260 y 261 del Código de Comercio, así como aquellas que las modifiquen.
- **Condición climática:** Conjunto de condiciones atmosféricas, caracterizado por evolución de estados del tiempo, durante un periodo de tiempo y en un lugar o país determinado.

## 1.2 Definición del problema de negocio

El mercado de energía colombiano ha presentado una evolución significativa desde su creación, esforzándose por alcanzar la transparencia, eficiencia y establecimiento de precios justos para todos los usuarios. Con este fin, se han implementado varios mecanismos para satisfacer la demanda de energía de los participantes del Mercado de Energía Mayorista (MEM). La demanda se divide en regulada, correspondiente a usuarios residenciales, y no regulada, que incluye a la industria, a usuarios de alto consumo, alumbrado público y exportaciones de energía.

En el contexto del MEM, los participantes, como generadores y comercializadores, realizan transacciones financieras para atender la demanda a través de contratos bilaterales de largo plazo. Estos contratos especifican un precio y la cantidad de energía que debe suministrarse, aunque no requieren una transferencia física de la energía. Usualmente estos contratos no cubren la totalidad de la demanda de los compradores. Los compradores adquieren la energía adicional que necesitan para atender la demanda mediante la bolsa de energía, un mecanismo que expone a los agentes a la volatilidad de los precios de bolsa (Olarte, L., 2017).

La realización de contratos bilaterales de largo plazo con precios fijos actúa como un contrapeso a la inestabilidad de los precios de la bolsa. Esta contratación no solo mitiga el

riesgo asociado con las variaciones de precios en la bolsa de energía, sino que también proporciona beneficios sustanciales tanto para los compradores como para los vendedores, al ofrecer una cobertura para las transacciones más predecible y estable (Ossa, D., 2012).

Los precios de venta de la energía en contratos bilaterales se negocian libremente en el mercado no regulado, de acuerdo con negociaciones entre agentes o mediante mecanismos que la regulación establece para esta contratación. Mientras, en el mercado regulado los precios se determinan mediante convocatorias públicas, siguiendo un proceso que busca la oferta más competitiva de acuerdo con la reglamentación expedida por el regulador (CREG, 2023). En teoría este proceso es transparente y equitativo, permitiendo que todos los participantes tengan las mismas oportunidades para competir por contratos. Sin embargo, en la práctica, la implementación de estas convocatorias puede enfrentar desafíos que afectan la percepción de transparencia y equidad. Además, la participación y la vigilancia por parte de los consumidores y otras partes interesadas son cruciales para mantener la integridad del mercado regulado. En la práctica, se pueden presentar situaciones como:

- Una posición de control de algunas empresas que puede afectar los precios de la energía.
- El efecto de la dominancia de mercado en las estrategias y prácticas de contratación.
- Una posición predominante que afecta la competencia y los precios en el mercado.
- Influencia de factores o variables del mercado (como oferta, demanda, y condiciones externas) en la formación de precios de contratos.
- Precios y volúmenes de contratación entre diferentes agentes del mercado.
- Patrones y malos manejos que puedan indicar prácticas no competitivas o concentración de mercado.

Estas situaciones, enfatizan la necesidad de un análisis profundo de los precios contratados para identificar patrones y posibles influencias en la formación de precios.

El problema de negocio que se aborda en este Trabajo Final se define como el análisis exhaustivo de los precios de los contratos de energía eléctrica en el mercado colombiano. El objetivo principal es identificar patrones de comportamiento, influencias externas y prácticas de mercado que puedan comprometer la transparencia y eficiencia en la formación de precios. Este estudio es crucial para asegurar que los precios sean justos y competitivos, reflejando adecuadamente las dinámicas de oferta y demanda en un sector vital para el bienestar económico y social de Colombia. El análisis permitirá a los participantes en las convocatorias del mercado regulado tomar decisiones más informadas, fomentando un entorno de mercado más justo y eficiente. Este enfoque responde a una laguna identificada en la literatura, destacando la originalidad y relevancia de la investigación propuesta.

De acuerdo con lo anterior, el problema de negocio abordado en este Trabajo Final es: Analizar detalladamente los precios de los contratos de energía eléctrica en el mercado colombiano, para identificar patrones de comportamiento, influencias externas y prácticas de mercado que puedan afectar la transparencia y eficiencia en la formación de precios. Este análisis es vital para asegurar que los precios sean justos y competitivos, reflejando adecuadamente la oferta y demanda en un mercado que es esencial para el bienestar económico y social de Colombia. La investigación de estos aspectos permitirá a los participantes de las convocatorias para el mercado regulado tomar decisiones más informadas, promoviendo un entorno de mercado más equitativo y eficiente. Además, teniendo en cuenta que a la luz de la literatura no se encuentra resuelto el problema de negocio planteado. A continuación, se presenta la revisión de literatura, la cual permite justificar esta última afirmación.

## 1.3 Revisión de literatura

### 1.3.1 Metodología

En esta sección, se presenta una revisión de la literatura realizada para el Trabajo Final de Maestría, en la cual se utilizará la información de artículos publicados en Scopus y Google Académico, considerando la siguientes cadenas de búsqueda para la fecha de consulta entre el año 2010 y 2024.

Scopus:

```
(  
    TITLE-ABS-KEY("precios contratos energía" OR "proyección precios  
    contratos" OR "riesgo de mercado energía" OR "cobertura contratos" OR  
    "análisis comportamiento precios" OR "comportamiento precios mercado  
    regulado"  
    ) AND TITLE-ABS-KEY(Colombia))
```

Google Académico:

```
(  
    "precios contratos energía" OR "proyección precios contratos" OR  
    "riesgo de mercado energía" OR "cobertura contratos" OR  
    "análisis comportamiento precios" OR "comportamiento precios mercado  
    regulado"  
    ) AND Colombia
```

### 1.3.2 Resultados y discusión

Arango, A. (2023) propone un modelo de valoración para los contratos de futuros de Derivex, el cual integra un enfoque basado en árboles de decisión junto con un modelo de simulación del precio de la electricidad en la Bolsa de Energía. Este estudio revela la viabilidad de realizar coberturas eficaces del riesgo de mercado utilizando el modelo propuesto.

Taticuán, H. (2023) realiza un análisis del mercado de energía para evaluar el impacto que el retraso en la entrada en operación de plantas de fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER) puede tener en el mismo. Estas plantas suelen estar comprometidas mayoritariamente con contratos de largo plazo adjudicados a través de subastas de contratación. Se estimaron los posibles efectos en el precio de la energía, y se encontró que el factor más influyente en la determinación de los precios en el mercado es el tiempo antes de la ejecución de los contratos. Además, no se observó un impacto significativo en el precio cuando se trata de plantas FNCER.

Olaya, M. (2014) realiza un análisis del riesgo que asumen las empresas comercializadoras al comprar la energía requerida a un determinado precio, considerando que esta compra es realizada con anterioridad y puede presentarse que el precio en el momento del despacho de la energía pueda ser superior o inferior. Donde se obtuvo como resultado que es recomendable que las compañías que se encuentran contratadas en 90% y expuesta en bolsa un 10%, dado que tienen precios muy similares en la utilidad bruta esperada. Además, al realizar la compra en contratos se asegurarían los flujos de caja futuros ciertos.

Martinez et al (2014) realizan una predicción de los precios de contratos de energía, donde se consideran algunos factores de interés que son utilizados por los agentes para determinar el precio al que venden la energía. Donde se identifica que es posible la aplicación del algoritmo de Programación Genética a la predicción de la serie de precios promedio despachados en el mercado eléctrico colombiano con menor error y un nivel de variabilidad inferior que los modelos tradicionales de predicción de series de tiempo ARIMA y las redes neuronales dinámicas DAN2.

Ossa, D. (2012) presenta un análisis y discusión respecto a los comportamientos estratégicos de los agentes generadores en corto, mediano y largo plazo en el mercado eléctrico colombiano, encontrando que el sector eléctrico se clasifica como un mercado con un grado moderado de concentración, en el que las empresas más grandes de generación se encuentran en una posible posición dominante para ejercer poder de mercado, esto lleva a que la competencia disminuya más que en otros países.

Trespacios et al (2011) presentan diferentes estrategias de coberturas mediante contratos forward y modelos de predicción de precios que consideran factores utilizados para determinar el precio. Se identifica que cuando hay presencia de la prima de riesgo en los contratos de largo plazo, el precio del contrato tendrá una disminución, en cuyo caso el nivel de cobertura de un agente dependerá de su nivel de aversión al riesgo, la volatilidad

del volumen esperado, la prima de riesgo de largo plazo del mercado y la correlación esperada entre volumen y precio del contrato.

Ruiz, H. (2011) presenta un análisis de la relación directa e inversa que se tiene entre el precio de venta en contrato y el precio spot de la energía, la cual causa que ante cambios del precio spot puede presentar un impacto en los precios de contratos de largo plazo. No obstante, como resultado en este trabajo se encontró que ante incrementos en el nivel de ventas en contratos de los generadores conllevarían a disminuciones en el precio de bolsa. La evidencia encontrada en el periodo de análisis muestra una relación directa entre los cambios en la magnitud de las ventas en contratos de los generadores y los cambios en el precio de bolsa. Por lo tanto, como recomendación se plantea continuar profundizando en la forma como se están contratando los agentes, por ejemplo, la incidencia en la formación del precio de bolsa al tener un nivel alto de contratación.

## **1.4 Definición del problema de analítica**

En la Sección 1.2, se definió el problema de negocio como un análisis exhaustivo de los precios de los contratos de energía eléctrica en el mercado colombiano. Este problema se ha redefinido como un problema de analítica en el presente Trabajo Final de Maestría, enfocándose en la aplicación de analítica descriptiva y predictiva al mercado de energía. Para abordarlo, se emplean diversas técnicas estadísticas que permiten identificar y comprender patrones en los datos, incluyendo métricas de dispersión, centralidad y tendencia central, así como métodos de agrupamiento y análisis de la variabilidad, distribución y relación entre variables. Este enfoque facilita un entendimiento más profundo de cómo los patrones detectados pueden influir en otros aspectos del mercado.

Para abordar este problema, se formuló una serie de preguntas de negocio que equivalen a las preguntas de investigación, las cuales serán respondidas aplicando análisis de datos y técnicas de aprendizaje automático. Este análisis permite apoyar decisiones más informadas en la contratación de energía, basándose en patrones y tendencias históricas del sector eléctrico.

## **1.5 Discusión**

En esta sección se profundiza sobre el problema planteado definido en la Sección 1.2, y se plantean las correspondientes preguntas de negocio que tienen como finalidad analizar las situaciones planteadas al final de dicha sección. Las preguntas de negocio que se van a responder en este Trabajo Final son:

1. Analizar el comportamiento de los precios contratados por las empresas con situación de control.
  - ¿Cómo han evolucionado los precios de contratos entre empresas con y sin situación de control?

Esta pregunta de negocio responderá, mediante un análisis de comportamiento de medias, cual es la diferencia que se presenta entre los precios de los contratos, diferenciándolos entre aquellos donde el comprador y vendedor tienen alguna situación de control y aquellos que no tienen ninguna situación de control.

- ¿Cuál es el impacto de la anticipación en la negociación de los precios de los contratos por año?

La respuesta a esta pregunta de negocio permitirá identificar si hay un impacto en los precios de los contratos, ocasionado por la anticipación con la que se haya realizado la negociación entre las partes para suscribir el contrato, para lo cual se pueden aplicar técnicas estadísticas que permitan diferenciar los precios de acuerdo con el año de registro.

- ¿Cómo se distribuyen los precios de los contratos según la situación de control?

Esta pregunta de negocio permitirá encontrar outliers y la concentración de los precios de los contratos, mediante técnicas de dispersión de datos que permitan identificar el comportamiento de la serie de datos.

2. Analizar el comportamiento de contratación de los agentes con una participación en el mercado superior a los demás agentes.

- ¿Cuál es la diferencia de precios entre agentes con alta y baja participación en la demanda?

Esta pregunta de negocio permitirá obtener la diferencia que se presenta entre los precios de los contratos de los agentes que atienden una mayor demanda en el país y los que atienden una baja demanda, con el fin de determinar si los agentes más grandes tienen la posibilidad de negociar a precios más bajos una mayor energía. Esto se realizará mediante un análisis de dispersión de los precios de contratos de cada uno y un análisis de comportamiento de medias.

- ¿Cómo es la variabilidad en los precios de los agentes con alta y baja participación?

Mediante esta pregunta de negocio, se podrá identificar la variabilidad de los precios de contratos que se realizan entre agentes con una alta y baja participación en el mercado. Este análisis se realizará mediante un análisis de desviación estándar entre los precios de un agente con alta participación y con baja participación.

- ¿Cómo se distribuyen los precios de los contratos de los cuatro agentes que mayor demanda atienden?

Esta pregunta de negocio permitirá identificar cómo se distribuyen los precios de contratos de los agentes que atienden la mayor parte de la demanda del país, y cómo es su variación respecto a los demás agentes, mediante un análisis de dispersión de precios de contratos.

3. Analizar las relaciones entre el precio de contratos y diferentes variables del mercado que pueden inferir en la formación de los precios.

- ¿Cómo afectan la volatilidad y expectativa del precio de bolsa a los precios de contratos en un periodo determinado?

Mediante esta pregunta de negocio se podrá identificar si hay una influencia del precio de bolsa y su expectativa durante un periodo determinado, en los precios de contrato que se realicen para este periodo, mediante un análisis de relación entre las variables y aplicando el método de mínimos cuadrados para obtener la relación lineal entre las variables

- ¿Cuál es el impacto de fenómenos climáticos como El Niño o La Niña en los precios?

Esta pregunta de negocio permitirá identificar si hay una influencia de los fenómenos de El Niño o La Niña en los precios de los contratos, de tal manera que los precios más altos se den en periodos de sequía es decir durante época de fenómeno de El Niño y los precios más bajos se den en periodos de invierno, es decir durante época de fenómeno de La Niña. Para esto se aplicará un análisis de relación entre variables.

- ¿Influye la entrada de proyectos de generación renovable en los precios de los contratos?

Mediante esta pregunta de negocio se podrá identificar si a medida que ingresan a operación comercial nuevos proyectos de generación, especialmente de generación renovable (cuya fuente de generación es hidráulica, solar, eólica), se presenta una influencia en el precio de los contratos. Para esto se realizará un análisis de relación entre variables para identificar la dependencia.

4. Comparar los agentes del mercado, de acuerdo con los precios y porcentaje de contratación.

- ¿Cómo es la distribución de precios de contratos según la capacidad de generación de las empresas?

Esta pregunta de negocio permitirá identificar cómo se distribuyen los precios de contratos de los agentes de acuerdo con la capacidad de generación de las empresas generadoras. Esto se realizará mediante un análisis de dispersión de los precios de contratos y un análisis de comportamiento de medias.

- ¿Cómo es la distribución de los precios de los contratos según el porcentaje de exposición en bolsa del agente comprador?

Esta pregunta de negocio permitirá identificar cómo se distribuyen los precios de contratos de los agentes de acuerdo con el porcentaje de exposición en bolsa de las empresas comercializadoras. Esto se realizará mediante un análisis de dispersión de los precios de contratos y un análisis de comportamiento de medias.

## **1.6 Información utilizada**

La información disponible para el desarrollo de este Trabajo Final de Maestría es publicada por el administrador del Mercado de Energía Mayorista en los portales de datos Sinergox (<https://sinergox.xm.com.co/Paginas/Home.aspx>) y SIMEM (<https://www.simem.co/>), los cuales contienen la información pública que se utilizará en este trabajo con corte a junio del 2024. Sin embargo, para la información que es de carácter reservado solo se va a presentar los resultados agregados.

Respecto a la información utilizada en el desarrollo de este trabajo, se consideran los precios de contratos despachados y demás variables relacionadas en el análisis, para el periodo de enero de 2015 a diciembre del 2023, los cuales han sido actualizados a precios constantes de diciembre de 2023, con el fin de eliminar la influencia de la inflación para la serie de precios.

## **1.7 Hipótesis**

La hipótesis de este Trabajo Final de Maestría es la siguiente: Es posible realizar un análisis de los precios de contratos de energía eléctrica en el mercado de energía colombiano, para determinar patrones de comportamiento en los precios contratados, a partir de técnicas estadísticas y de aprendizaje de máquinas.

## **1.8 Objetivos**

### **1.8.1 Objetivo General**

El objetivo general de este Trabajo Final de Maestría es analizar los precios de contratos de energía eléctrica en el mercado colombiano, con el fin de determinar patrones de comportamiento de los precios contratados.

### **1.8.2 Objetivos Específicos**

1. Analizar el comportamiento de los precios contratados por las empresas con situación de control.
2. Analizar el comportamiento de contratación de los agentes con una participación en el mercado superior a los demás agentes.
3. Analizar las relaciones entre el precio de contratos y diferentes variables del mercado que pueden inferir en la formación de los precios.
4. Comparar los agentes del mercado, de acuerdo con los precios y porcentaje de contratación.

## 1.9 Metodología

La metodología empleada en este trabajo de investigación se basa en el proceso Crisp-DM (Cross-Industry Standard Process for Data Mining), que es un estándar reconocido para la minería de datos y abarca varias fases esenciales para la solución de problemas de negocio mediante la personalización de sus etapas según las necesidades del proyecto (IBM 2021).

**Comprensión del Negocio:** Para ello, se tienen definidos los objetivos específicos relacionados con el análisis del comportamiento de precios y contrataciones en el Mercado de Energía Mayorista colombiano. Para lo cual, es esencial comprender la importancia de este análisis en el contexto del mercado y cómo pueden influir en las políticas o decisiones estratégicas de las empresas.

**Comprensión de los Datos:** Se determinará qué datos son necesarios para analizar los precios contratados, comportamiento de contratación, y las variables del mercado que afectan la formación de precios. Esto incluye datos históricos de precios, volúmenes de contratación, información sobre los agentes del mercado y variables macroeconómicas.

**Preparación de los Datos:** Se asegurará que los datos estén limpios y preparados para el análisis. Lo cual incluirá la corrección de errores, el manejo de valores faltantes y la creación de un conjunto de datos consolidado que pueda ser fácilmente accesible en el modelado.

**Modelado:** Para el desarrollo de los objetivos, se considerará modelos estadísticos que permitan analizar relaciones entre variables (regresiones lineales o modelos de series). Para lo cual, de acuerdo con el caso de análisis se seleccionará el modelo basado en la naturaleza de los datos y el tipo de análisis que se desee realizar.

**Evaluación de Resultados:** Se procederá a evaluar los modelos en términos de su precisión y su habilidad para abordar las preguntas de negocio planteadas, garantizando que los resultados sean válidos y confiables. Además, que satisfagan los requisitos y expectativas definidos previamente en las preguntas de negocio.

**Despliegue:** Se documentarán los hallazgos del análisis de manera clara y detallada, discutiendo cómo los resultados responden a cada uno de los objetivos planteados.

## 1.10 Mapa del documento

El resto de este trabajo final está estructurado de la siguiente manera: En el Capítulo 2 se desarrolla el objetivo específico “Analizar el comportamiento de los precios contratados por las empresas con situación de control”, para ello, plantean unas preguntas de negocio que dan respuesta al análisis planteado, desagregando los precios de los contratos en aquellos pertenecientes a empresas con situación de control y aquellos que no lo están. En el Capítulo 3 se desarrolla el objetivo específico “Analizar el comportamiento de contratación de los agentes con una participación en el mercado superior a los demás agentes”, para

ello, se plantean unas preguntas de negocio que dan respuesta al análisis planteado, realizando una agrupación por la participación de demanda que atienden los agentes. En el Capítulo 4 se desarrolla el objetivo específico “Analizar las relaciones entre el precio de contratos y diferentes variables del mercado que pueden inferir en la formación de los precios”, para ello, se planten las preguntas de negocio que dan respuesta a la relación que pueden tener algunas variables con los precios de contratos y como estos pueden inferir en la formación de los precios. En el capítulo 5 se desarrolla el objetivo específico “Comparar los agentes del mercado, de acuerdo con los precios y porcentaje de contratación”, para ello se realiza una comparación entre los agentes de acuerdo con los precios contratados y los porcentajes de contratación. Finalmente, en el Capítulo 6 se presentarán las conclusiones donde se enfocan en el cumplimiento de los objetivos planteados en el Trabajo Final de Maestría.

## **2. Análisis del comportamiento de los precios contratados por las empresas con situación de control.**

En este capítulo se desarrolla el objetivo específico “Analizar el comportamiento de los precios contratados por las empresas con situación de control”. Para ello, se responderán las siguientes preguntas de investigación, las cuales fueron previamente discutidas en el Capítulo 1:

- ¿Cómo han evolucionado los precios de contratos entre empresas con y sin situación de control?
- ¿Cuál es el impacto de la anticipación en la negociación de los precios de los contratos por año?
- ¿Cómo se distribuyen los precios de los contratos por año según la situación de control?

El resto de este Capítulo está organizado como sigue: en la Sección 2.1 se presenta la introducción; la Sección 2.2 describe la metodología empleada; la Sección 2.3 detalla la información utilizada; la Sección 2.4 expone la preparación de datos; la Sección 2.5 expone los resultados y la discusión correspondiente; finalmente, la Sección 2.6 presentan las conclusiones.

### **2.1 Introducción**

El Mercado de Energía Mayorista (MEM) ha sido objeto de numerosas transformaciones desde su creación, dirigidas a incrementar la transparencia, la eficiencia, la confiabilidad y el establecimiento de precios justos. A pesar de estos esfuerzos, se enfrentan desafíos significativos, en particular relacionados con la formación de precios que inciden directamente en los consumidores finales. El MEM se distingue por una clara división entre los usuarios regulados, principalmente residenciales, que constituyen alrededor del 70% de la demanda, y los usuarios no regulados que comprenden industrias y grandes consumidores, representando el 30% restante. Este cálculo se realizó de acuerdo con la demanda del año 2023

Uno de los principales objetivos del regulador en este contexto es garantizar la transparencia del mercado y la formación de precios justos. Esto resulta fundamental no solo para mantener la equidad entre los participantes del mercado, sino también para asegurar la eficiencia en la operación del sector eléctrico. La falta de transparencia puede llevar a condiciones de mercado desfavorables que benefician injustamente a ciertas empresas, perjudicando así la competitividad y la equidad del sector.

Dada esta realidad, se hace imprescindible realizar análisis detallados que permitan entender cómo ciertas empresas podrían influir en la configuración del mercado a su favor.

Para realizar este análisis, se diseñaron las tres preguntas de negocio presentadas al inicio de este capítulo. La respuesta a la primera pregunta permitiría analizar cómo han evolucionado los precios de los contratos entre empresas con y sin situación de control; para ello, se analizará el comportamiento de medias con el fin de identificar diferencias significativas. La respuesta a la segunda pregunta permitirá evaluar el impacto de la anticipación en la negociación y su registro en los precios de los contratos para un año determinado; para el análisis se aplicarán técnicas estadísticas que permitan comprender las variaciones temporales. Finalmente, la respuesta a la tercera pregunta permitirá conocer la distribución de los precios de los contratos por año según la situación de control entre las partes, con el fin de identificar outliers y patrones de concentración de precios.

Los resultados que se obtendrán en este análisis son relevantes no solo para investigadores y reguladores, sino también para los participantes del mercado que buscan comprender cómo las posiciones de control pueden influir en las estructuras de precios, afectando la competitividad y la equidad en el mercado. Al utilizar metodologías estadísticas avanzadas y un enfoque analítico meticuloso, este estudio busca ofrecer insights valiosos que puedan influir en futuras decisiones regulatorias y en la formulación de estrategias empresariales dentro del sector eléctrico.

## **2.2 Metodología**

En este capítulo, se aborda el análisis de tres preguntas de negocios, enfocadas en el análisis del comportamiento de los precios contratados por las empresas con situación de control. Para ello, se hace necesario definir la metodología para dar respuesta a cada pregunta negocio.

### **2.2.1 Metodología para la Pregunta 1**

Para responder a la pregunta ¿Cómo han evolucionado los precios de contratos entre empresas con y sin situación de control?, se analizará la evolución de los precios de contratos para ambos tipos de empresas.

Para analizar la distribución y tendencias en los precios promedio ponderados de los contratos, se emplearon diagramas de caja (boxplots) agrupados por año y tipo de situación de control. Esta técnica visual permite identificar rápidamente la mediana, los cuartiles y los valores atípicos en los datos, proporcionando una visión clara de la distribución y variabilidad de los precios a lo largo del tiempo.

## 2.2.2 Metodología para la Pregunta 2

Para responder a la pregunta ¿Cuál es el impacto de la anticipación en la negociación de los precios de los contratos por año?, se aplicará un modelo de regresión lineal múltiple donde la variable dependiente será el precio de los contratos y las variables independientes incluirán la anticipación de la negociación (medida en años antes del despacho del contrato) y la situación de control. La anticipación en la negociación se define como el periodo de tiempo antes del despacho del contrato, en el cual fue negociado el precio entre las partes.

Con este análisis se proporcionarán insights sobre:

- La importancia de la anticipación en la estrategia de negociación.
- Cómo ha variado el impacto de la anticipación a lo largo de los años.
- Información cuantitativa para la toma de decisiones estratégicas y operativas.

## 2.2.3 Metodología para la Pregunta 3

Para responder a la pregunta ¿Cómo se distribuyen los precios de los contratos según la situación de control?, se aplicará técnicas de dispersión de datos con el fin de explorar la distribución y variabilidad de los precios de contratos, según la situación de control. A continuación, se describen las técnicas que se usarán para visualizar y analizar la variabilidad de los datos:

- **Gráficos de Dispersión:** Para observar la relación entre los precios de los contratos y otros factores cuantitativos.
- **Gráficos de Densidad:** Para estimar la distribución de probabilidad de los precios de los contratos.
- **Histogramas:** Para visualizar la frecuencia de los precios de los contratos y detectar patrones como la asimetría y la curtosis.

## 2.3 Información utilizada

Para el análisis propuesto en este capítulo, se utilizarán los datos publicados por el administrador del Mercado de Energía Mayorista, accesibles a través de los portales Sinergox<sup>1</sup> y SIMEM<sup>2</sup>. Estos datos incluyen los precios promedio ponderados de contratos y la energía despachada mensualmente desde enero de 2015 hasta diciembre de 2023. Esto equivale a un total de nueve años para el análisis. La información está desagregada

---

<sup>1</sup> Portal de datos Sinergox (<https://sinergox.xm.com.co/Paginas/Home.aspx>)

<sup>2</sup> Portal de datos abiertos SIMEM (<https://www.simem.co>)

por el agente comprador y vendedor, tipo de mercado, fecha de registro y la existencia de situación de control entre el comprador y vendedor.

## **2.4 Preparación de datos**

Para realizar los análisis planteados, los precios de contratos fueron transformados a valores constantes de diciembre de 2023, con el fin de eliminar la influencia de la inflación en la serie de precios. Para ello, se emplea el Índice de Precios del Productor (IPP) de Oferta Interna publicado por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE)<sup>3</sup>.

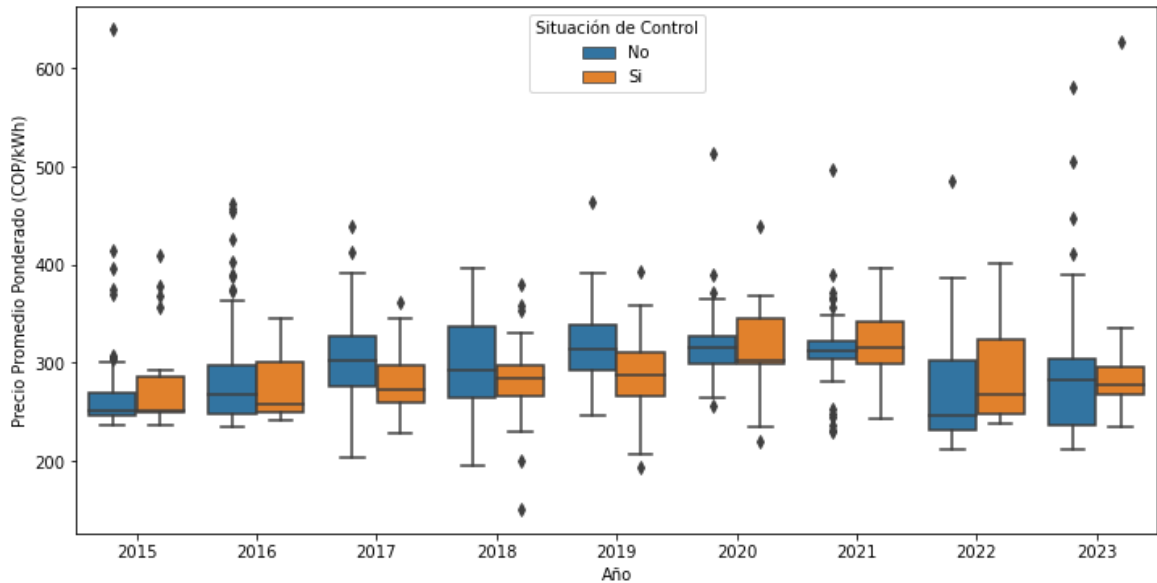
## **2.5 Resultados y Discusión**

### **2.5.1 P1) ¿Cómo han evolucionado los precios de contratos entre empresas con y sin situación de control?**

Para responder esta pregunta se analizarán las distribuciones de precios para empresas con y sin situación de control. En la Fig. 1 se presenta la distribución del precio promedio ponderado de los contratos de energía en el MEM, diferenciada por año y situación de control. Cada boxplot representa la distribución de precios para cada año y tipo de situación de control. Los datos graficados como puntos atípicos corresponden a la información específica del precio de una empresa para un año determinado.

---

<sup>3</sup> Publicación del IPP, página web DANE (<https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/precios-y-costos/indice-de-precios-del-productor-ipp>)



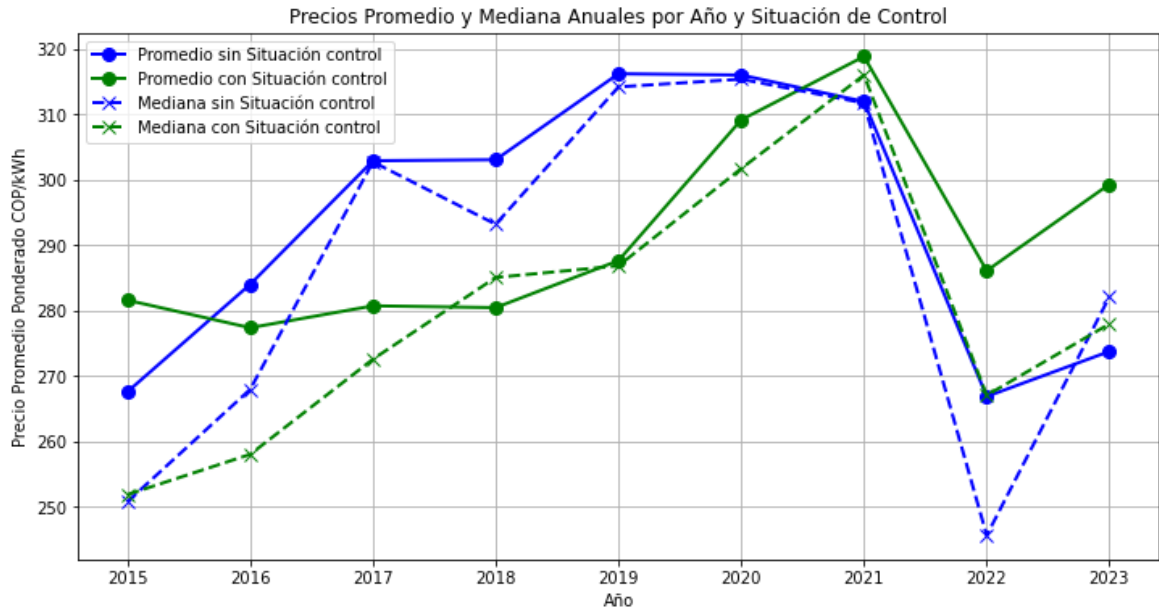
**Fig. 1.** Distribución del Precio Promedio Ponderado por Año y Situación de Control

El análisis de la **Fig. 1** permite concluir que hay diferencias claras entre empresas que están bajo una situación de control y aquellas que no. La gráfica muestra variaciones significativas en los precios promedio ponderados a través de los años, así como entre los grupos de empresas con y sin situación de control. En algunos años, las empresas bajo situación de control parecen tener precios promedio más bajos, lo que podría indicar una influencia de esta condición en la capacidad de negociar términos más favorables. Sin embargo, la presencia de valores atípicos y la variabilidad dentro de cada grupo también subrayan la complejidad del mercado y la influencia de otros factores dinámicos en la formación de precios. Estos hallazgos son fundamentales para entender mejor las dinámicas de contratación en el mercado.

En cuanto a los precios atípicos de contratos por año que aparecen en la **Fig. 1** (los cuales tienen una distancia superior a 1.5 veces desviaciones estándar de la mediana), se identifica que hay una menor cantidad de ellos para las empresas con situación de control; es decir, los precios negociados entre empresas con situación de control tienen una menor variabilidad. Esto contribuye a que los precios para este tipo de empresas sean más estables. Por otra parte, los precios más elevados se registraron en el año 2023, posiblemente como consecuencia del fenómeno de El Niño hacia finales de dicho año. Además, varios de los precios más altos se asocian a transacciones de pequeñas cantidades de energía, sugiriendo la posible existencia de acuerdos especiales durante esos intervalos.

En la **Fig. 2** se observa la evolución del precio promedio anual ponderado y mediana anual de los contratos de energía en el mercado colombiano, diferenciada por el tipo de situación

de control de las empresas. Esta figura revela diferencias significativas en las tendencias de precios entre las empresas sujetas a control y aquellas que no lo están.



**Fig. 2.** Evolución del Precio Promedio Ponderado por Año y Situación de Control

El análisis de los precios promedio ponderados y medianas por año segmentadas por situación de control, revela varias tendencias significativas en el mercado de energía. Primero, la cercanía entre las líneas del promedio y la mediana indica que los precios no están fuertemente influenciados por valores extremos, lo cual sugiere una distribución de precios relativamente equilibrada sin grandes distorsiones. En segundo lugar, se observa una menor dispersión en los precios bajo la situación de control, lo que refleja menos variabilidad en comparación con los precios sin situación de control.

Los resultados indican que, a lo largo del período analizado, los precios en empresas con situación de control tienden a ser más estables. Esto puede atribuirse a la estrategia de contratar la energía con empresas del mismo grupo empresarial, proporcionando una situación que puede ser ventajosa tanto para las empresas como para los consumidores finales. En contraste, las empresas sin situación de control presentan una mayor volatilidad en sus precios. Esto podría ser indicativo de una mayor exposición a los precios que se ofrecen en el mercado y que en las convocatorias donde reciben las ofertas para realizar los contratos presentan una variación mayor en los precios.

Este comportamiento podría deberse a situaciones de abundancia o escasez de agua. Cuando los precios están altos, la generadora asociada podría ofrecer un precio más bajo a su comercializadora; por el contrario, en periodos de precios bajos, la comercializadora

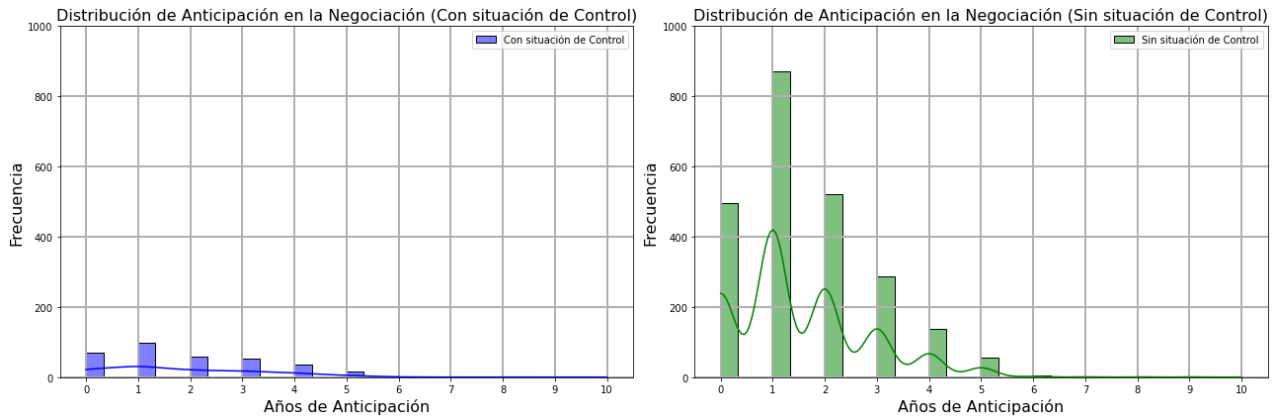
podría pagar un poco más que el promedio del mercado a su generadora. Lo anterior sería una especie de SWAP (Kemper, A., et al 2020), lo que permite que el flujo de caja de la empresa en situación de control tenga menos variabilidad.

Respecto a los resultados obtenidos para la **P1**, relacionada con la evolución de los precios de contratos entre empresas con y sin situación de control, se encontró que hasta el año 2020, los precios promedio de contratos de los agentes sin situación de control, tenían un valor mayor a los precios de agentes con situación de control, lo cual cambia a partir del año 2021, donde los precios promedio de los contratos con situación de control son superiores. Este cambio en la tendencia del nivel de los precios puede estar relacionado con la entrada en operación del Sistema de Información de Convocatorias Públicas-SICEP (Resolución CREG 130 de 2019), el cual inició operación a partir del año 2020 con la celebración de convocatorias públicas para la contratación en el mercado Regulado. Además, en 2019 y 2020 se presentó condiciones climáticas particulares que llevaron a la disminución del volumen de los embalses, sin embargo, para estos años no fue declarado un evento de El Niño. Adicionalmente en el año 2020, se presentó la pandemia de COVID-19 y los incrementos en el IPP Oferta Interna con el que se indexan los contratos de largo plazo, causando también aumentos en el precio de estos. Por otro lado, en el año 2022, mediante la resolución CREG 029 de 2022 se renegociaron los precios e indexadores de los contratos de largo plazo, lo cual llevó a una disminución considerable en el precio de los mismos.

### **2.5.2 P2) ¿Cuál es el impacto de la anticipación en la negociación de los precios de los contratos por año?**

Para responder a esta pregunta, es necesario considerar que la anticipación en la negociación de contratos juega un papel determinante en la configuración de los precios que se negocian. La anticipación se produce cuando la negociación y el registro del contrato no se realizan en el mismo año; por ejemplo, un contrato registrado en el 2021 y con entrega de energía en el 2023, tiene 2 años de anticipación. Al negociar contratos con anticipación, las empresas buscan asegurar precios ventajosos y mitigar los riesgos asociados con las fluctuaciones futuras del mercado. En este análisis, se explora cómo la anticipación en la negociación de contratos influye en los precios por año. Para ello, se comparan las medias de los precios con anticipación desde 0 hasta 10 años.

Antes de responder a la pregunta de investigación planteada, se presenta un análisis de la cantidad de contratos por periodo de anticipación. Para ello, en la **Fig. 3** se muestran los histogramas de frecuencias de la cantidad de contratos respecto al número de años de anticipación, discriminados por tipo de situación de control.



**Fig. 3.** Distribución de la anticipación en registro contratos

La comparación de los histogramas de frecuencia revela diferencias significativas en las estrategias de negociación y su impacto en la estabilidad de precios. Los contratos bajo situación de control muestran una anticipación más uniforme, lo que podría reflejar una planificación estratégica influenciada por la estabilidad al suscribir contratos con empresas del mismo grupo. Esta consistencia en la anticipación promueve una estabilidad de precios que beneficia tanto a las empresas como a los usuarios que atienden el comprador. Por otro lado, el histograma con la distribución de precios sin situación de control muestra una notable variabilidad y múltiples picos en la línea de densidad, lo que indica la existencia de varias modas en los años de anticipación. Esta diversidad observada en las modas de anticipación para contratos sin situación de control, que se dan entre empresas de distintos grupos empresariales, indica que las estrategias de negociación varían considerablemente. Esto refleja una adaptación a las dinámicas específicas del mercado o a condiciones internas propias de cada empresa.

Además, la distribución de anticipación sin situación de control muestra que los períodos de anticipación más comunes corresponden entre 0 y 2 años, los cuales, están asociados a la estrategia de las empresas de realizar contratos para periodos de tiempo más cercanos al despacho del contrato. Mientras que las empresas con situación de control tienden a realizar más contratos con periodo de anticipación superior a 2 años.

Para dar respuesta a la **P2**, se emplea un modelo de regresión lineal múltiple para analizar cómo la anticipación en la negociación de contratos de energía afecta los precios promedio ponderados. Para ello, se construye un modelo de pronóstico de precios que usa donde la variable explicada es el precio actual y las variables explicativas son los precios de los 10 años anteriores, el año de despacho de los contratos y la cantidad de años de anticipación. La variable cantidad de años de anticipación toma valores enteros desde 1 hasta 5.

Como resultado se encontró que la anticipación es una variable estadísticamente significativa en la formación del precio. Los resultados obtenidos en la estimación del modelo seleccionado son explicados en la **Fig. 4**.

```

=====
                        OLS Regression Results
=====
Dep. Variable:          promedio_ponderado      R-squared:                0.709
Model:                  OLS                    Adj. R-squared:           0.708
Method:                 Least Squares          F-statistic:              1037.
Date:                   Wed, 15 May 2024       Prob (F-statistic):       0.00
Time:                   00:05:12              Log-Likelihood:           -7878.3
No. Observations:      1711                   AIC:                     1.577e+04
Df Residuals:          1706                   BIC:                     1.579e+04
Df Model:               4
Covariance Type:       nonrobust
=====
                        coef      std err      t      P>|t|      [0.025      0.975]
-----
const                   5279.7325   1093.329     4.829   0.000     3135.327   7424.138
Anticipacion            -3997.4861   515.531    -7.754   0.000    -5008.625  -2986.347
promedio_ponderado      1.0104      0.016     61.521   0.000      0.978     1.043
Año                     -2.6149     0.541    -4.837   0.000     -3.675    -1.555
=====
Omnibus:                582.784      Durbin-Watson:           2.034
Prob(Omnibus):          0.000        Jarque-Bera (JB):        10746.641
Skew:                   1.113        Prob(JB):                 0.00
...
[1] Standard Errors assume that the covariance matrix of the errors is correctly
specified.
[2] The condition number is large, 1e+07. This might indicate that there are
strong multicollinearity or other numerical problems.

```

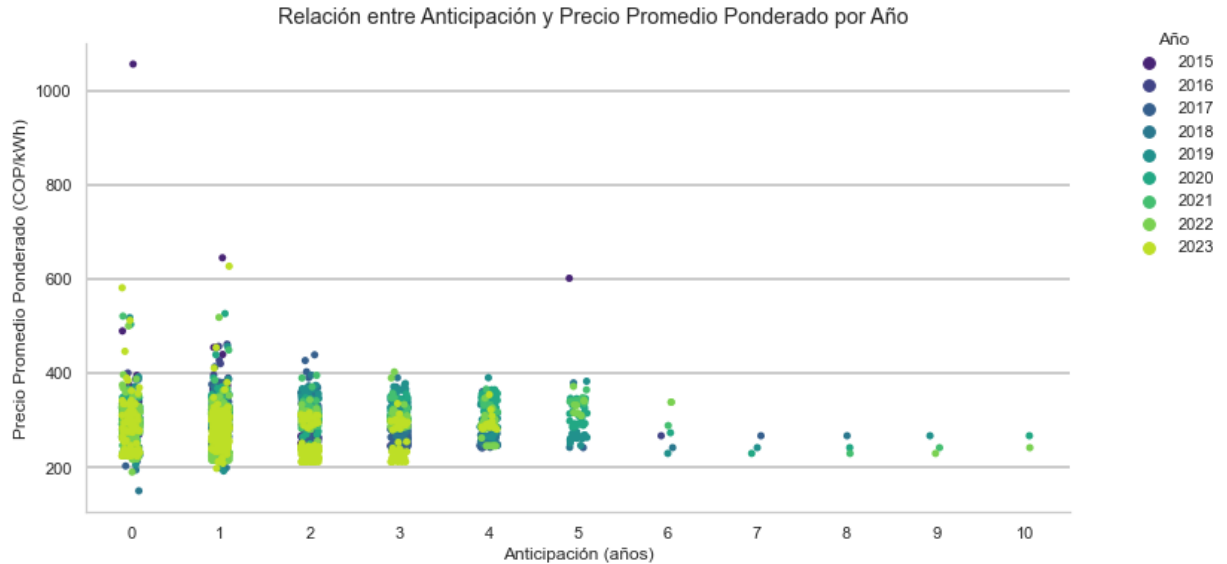
**Fig. 4. Resultado Modelo Regresión Lineal Múltiple**

También se encontró que la variable categórica de Situación de control no es estadísticamente significativa en la formación del precio.

Los resultados del modelo de regresión lineal descritos en la **Fig. 4.** revelan que la anticipación tiene un efecto estadísticamente significativo ( $p=0.000$  para un 5% de confiabilidad) sobre los precios promedio ponderados. Específicamente, se observa que a medida que la anticipación aumenta, el precio promedio ponderado tiende a disminuir, indicando que una mayor anticipación en la negociación de contratos está asociada con una reducción en el precio. El valor de  $R^2$  para este modelo es de 0.709, lo que significa que el modelo explica alrededor del 71% de la variabilidad en la serie de precio promedio ponderado.

Este resultado muestra que la anticipación puede ser una estrategia efectiva para conseguir precios más favorables, posiblemente debido a la mayor capacidad de negociación a largo plazo entre las partes.

Para observar el impacto de la anticipación en los precios de los contratos, la **Fig. 5** presenta un gráfico de dispersión que muestra esta relación, codificando por color según el año.



**Fig. 5.** Relación entre Anticipación y Precio Promedio Ponderado por Año

El gráfico de dispersión de la **Fig. 5** muestra cómo la relación entre la anticipación y el precio promedio ponderado varía a lo largo de los años. Cada punto representa los contratos entre un comprador y un vendedor indicando con su color el año de despacho. Esto permite visualizar que existe una tendencia en la relación entre la anticipación y los precios a través del tiempo. Esta tendencia indica que a medida que aumentan los años de anticipación, los precios tienden a disminuir, tal como se concluyó en el modelo de regresión.

Estos hallazgos indican que la anticipación puede ser una estrategia efectiva para obtener precios inferiores en los contratos de energía. Por lo tanto, las empresas que negocian contratos de energía pueden beneficiarse al planificar y anticipar sus necesidades con varios anticipación, lo que les permite obtener precios más favorables y potencialmente mejorar su posición competitiva en el mercado.

### 2.5.3 P3) ¿Cómo se distribuyen los precios de los contratos según la situación de control?

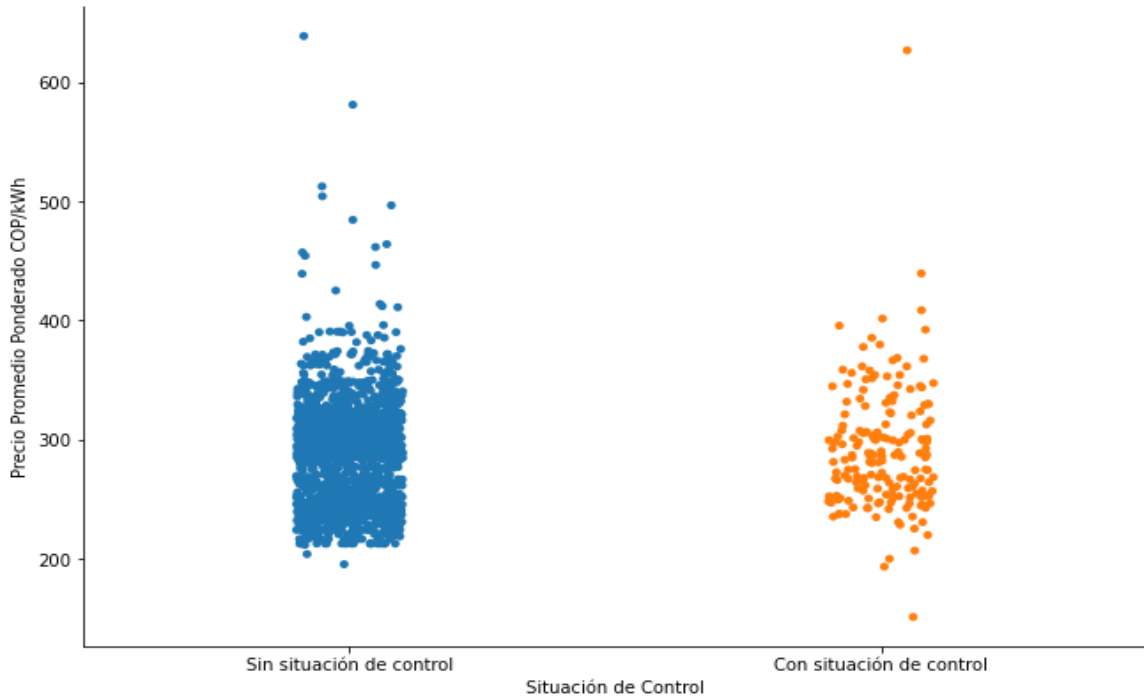
Para responder a esta pregunta de negocio es necesario calcular estadísticas descriptivas para los precios promedio ponderados, segmentados por la presencia o ausencia de situación control entre las partes del contrato. Para ello en la **Tabla 1** se presentan estas estadísticas que incluyen la media, mediana, desviación estándar, y los valores mínimo y máximo, así como los percentiles 25% y 75%.

**Tabla 1.** Estadísticas descriptivas para los precios promedios ponderados

<b>Situación Control</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Mínimo</b>	<b>0.25</b>	<b>0.5</b>	<b>0.75</b>	<b>Máximo</b>
Sin situación control	1,858.00	287.37	43.80	195.17	246.77	293.35	314.44	639.10
Con situación control	186.00	291.15	51.31	150.92	253.89	285.68	315.16	627.10

Las conclusiones extraídas de estos estadísticos revelan diferencias significativas en la distribución de los precios entre contratos con y sin situación de control. Aunque las medias de ambos grupos son similares, los contratos con situación de control muestran una mayor variabilidad en los precios, como lo indica su desviación estándar más alta. Además, la mediana más baja en los contratos con situación de control indica una distribución sesgada hacia precios más bajos comparado con los precios sin situación de control. Este análisis subraya la influencia de los contratos entre agentes con situación de control en la estabilización y la formación de precios en el mercado.

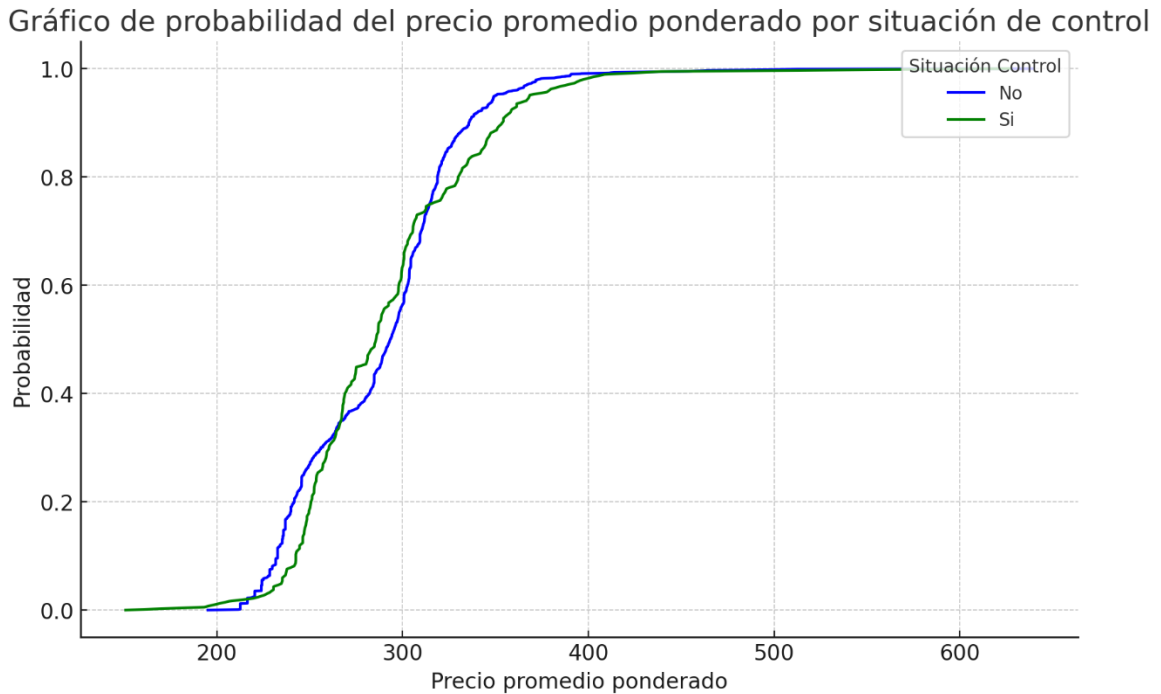
En la **Fig. 6** se presenta un gráfico de dispersión que ilustra cómo se distribuyen los precios promedio ponderados en dos categorías distintas: contratos con situación de control y contratos sin situación de control.



**Fig. 6.** Gráfico de dispersión de los precios promedio ponderados por situación de control

Los resultados del análisis del gráfico de dispersión indican diferencias claras en la distribución de los precios de los contratos según la situación de control. En los contratos sin control, los precios exhiben una amplia variabilidad, con una tendencia a concentrarse en rangos más bajos, lo que sugiere una dinámica de mercado donde los precios son dictados libremente por la oferta y la demanda. Por otro lado, los contratos con situación de control muestran una distribución mucho más compacta y uniforme de los precios, lo que refleja formación de precios entre empresas del mismo grupo empresarial, al evitar fluctuaciones extremas. Además, el análisis revela que los contratos con situación de control tienden a estabilizar y uniformizar los precios en el mercado de contratos, mientras que los contratos sin situación de control presentan una mayor dispersión en la formación de precios.

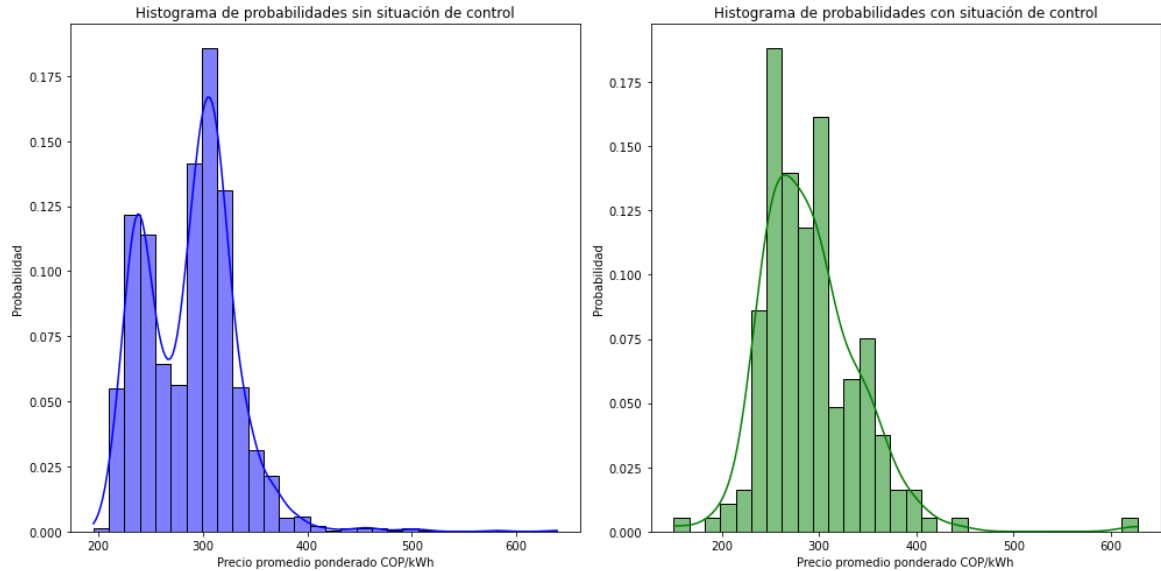
En la **Fig. 7** se presenta un gráfico de probabilidad que ilustra la distribución acumulada de los precios promedio ponderados de los contratos. Este gráfico facilita la comprensión de cómo se distribuyen los precios en cada categoría, en función de si existe o no una situación de control.



**Fig. 7.** Gráfico de densidad del precio promedio ponderado por situación de control

En la **Fig. 7.** se pueden observar diferencias claras en la distribución de precios entre los grupos con situación de control y sin situación de control. Específicamente, se muestra que los precios en el grupo con situación de control tienden a acumularse en rangos inferiores más rápidamente que en el grupo sin situación de control. Esto puede indicar que la situación de control está asociada con una menor variabilidad en los precios promedios ponderados. Además, el gráfico muestra que la mayoría de los precios en el grupo sin situación de control exceden el promedio más rápidamente que en el grupo con situación de control, sugiriendo que este último podría estar más protegido contra los picos de precios altos.

Para profundizar en el análisis de cómo se distribuyen los precios de los contratos según la situación de control, en la **Fig. 8** se presentan dos histogramas de probabilidades para contratos con y sin situación de control. En estos histogramas cada barra representa la proporción del total de datos que caen dentro de cada bin. Esta representación es útil para comparar este tipo de casos, donde las distribuciones tienen diferentes tamaños.

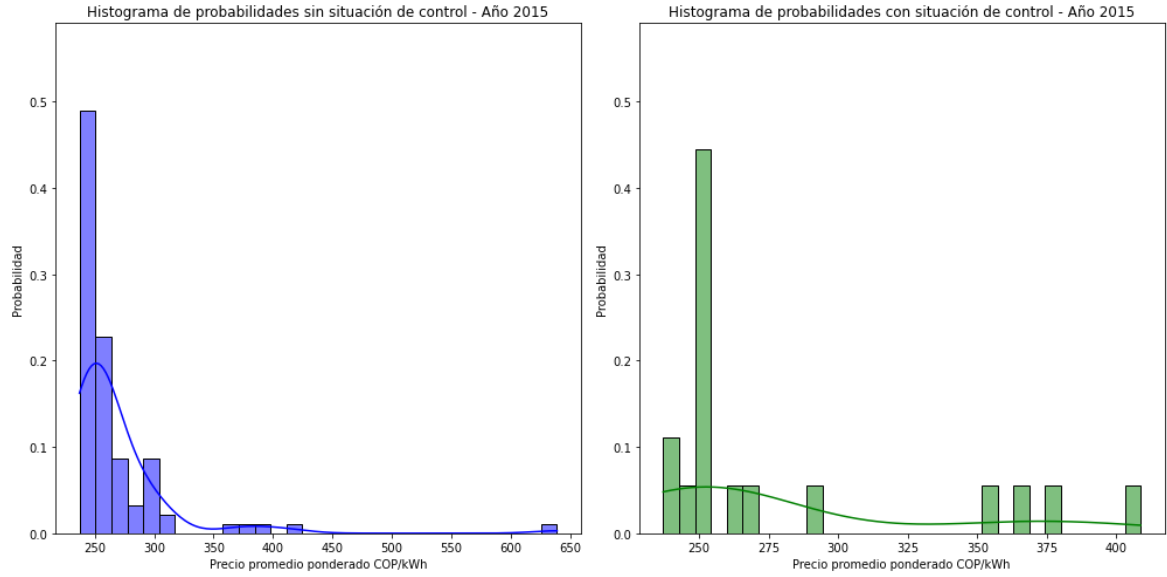


**Fig. 8.** Histograma de precios de contratos con y sin situación de control

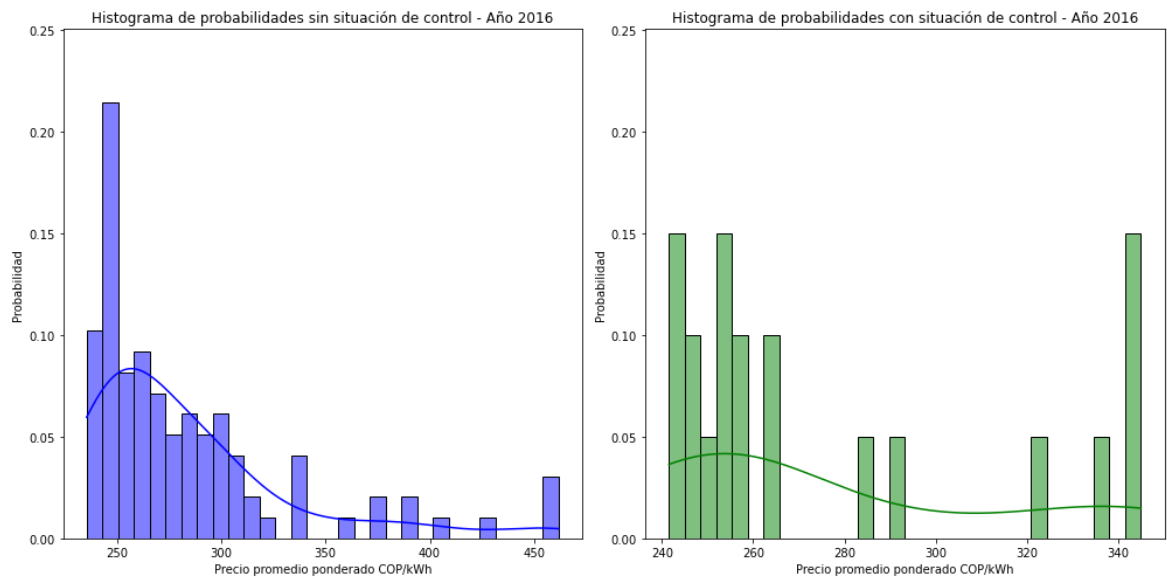
El histograma para los contratos sin situación de control muestra una distribución más amplia, lo que sugiere una mayor variabilidad y potencialmente una mayor exposición a fluctuaciones de mercado. En contraste, bajo una situación de control, los precios están notablemente más concentrados y estables, indicando que la ventaja que pueden tener los agentes de los mismos grupos empresariales en establecer precios sin alta volatilidad.

El histograma de los precios promedio ponderados de energía sin situación de control muestra claramente dos picos distintos, lo que sugiere una posible distribución bimodal. Esta bimodalidad indica que hay dos rangos de precios predominantes entre los cuales los valores tienden a agruparse más frecuentemente, en lugar de una distribución uniforme o unimodal alrededor de un solo valor central, como se presenta en los precios con situación de control. Esto podría reflejar la existencia de dos segmentos de mercado diferenciados dentro del grupo sin situación de control, cada uno con sus propias dinámicas de precios. Por ejemplo, la situación analizada en la **P1** donde se identificó que los precios sin situación de control tendían a aumentar entre el año 2017 a 2021 y para el restante presentaba una tendencia a la baja.

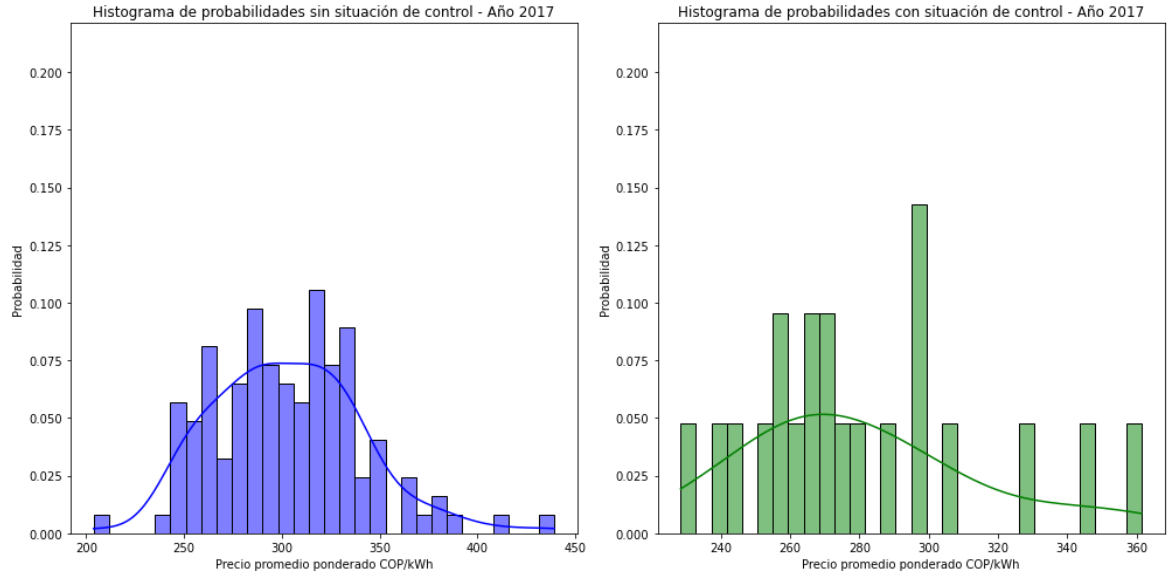
Esta situación presentada con la distribución de los precios hace necesario analizar la distribución para cada uno de los años, debido a que puede presentarse diferentes expectativas de mercado que ocasionen diferentes distribuciones para cada año. En general para todos los años se observa una mayor distribución en los precios para los contratos sin situación de control y para los contratos con situación de control precios mas concentrados sobre la media.



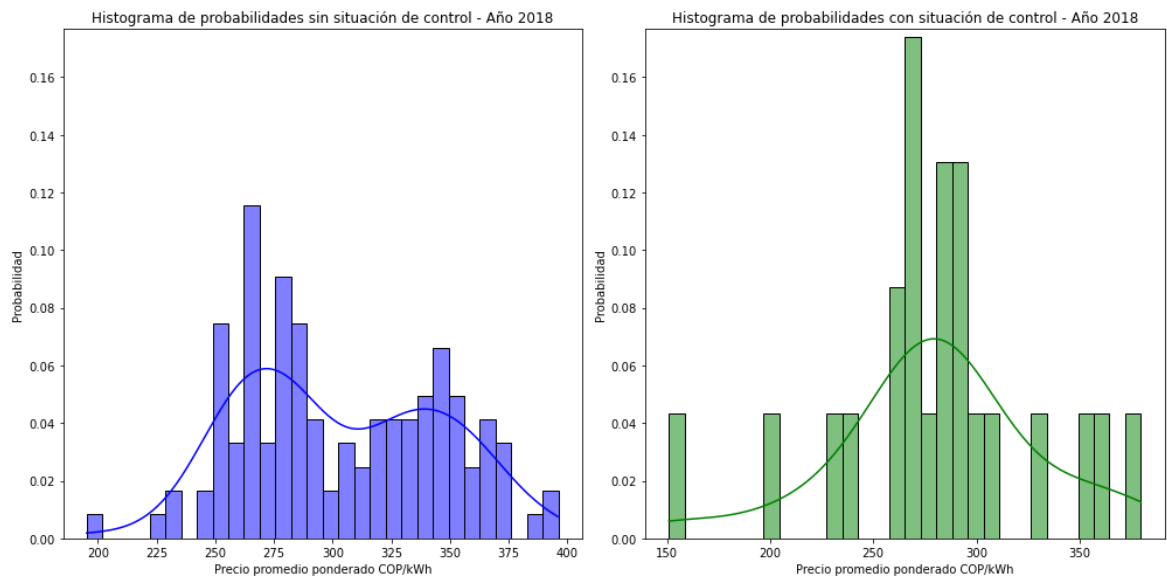
**Fig. 9.** Histograma de precios de contratos con y sin situación de control 2015



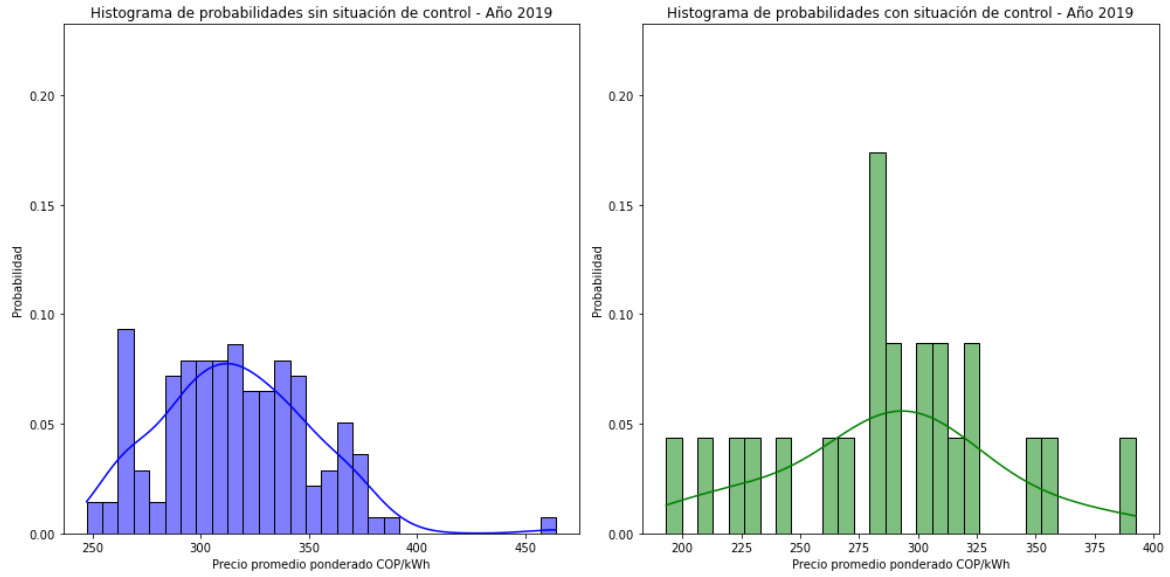
**Fig. 10.** Histograma de precios de contratos con y sin situación de control 2016



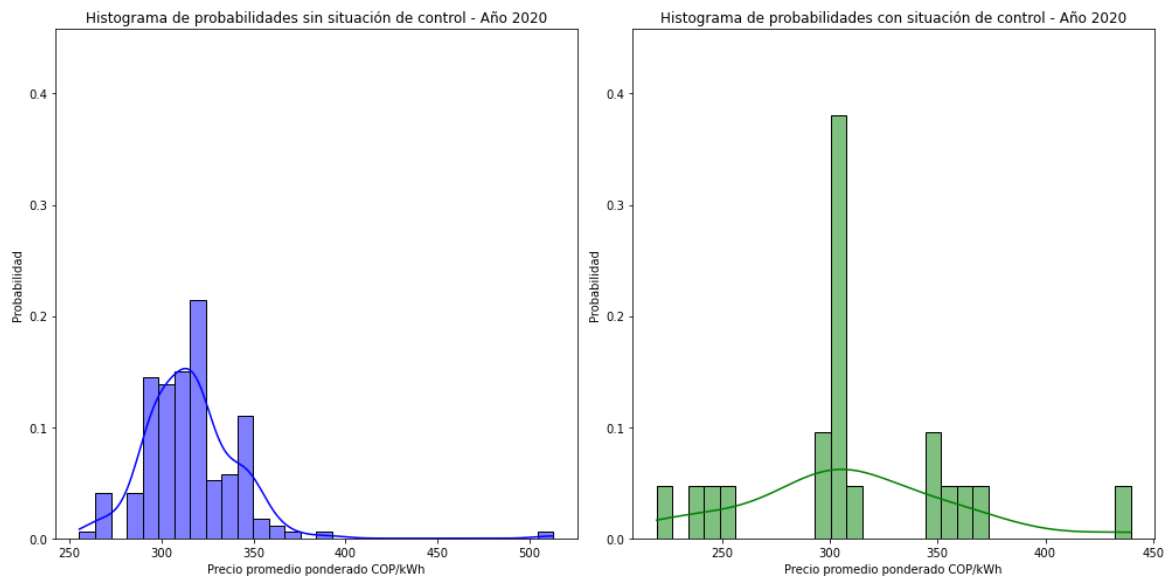
**Fig. 11.** Histograma de precios de contratos con y sin situación de control 2017



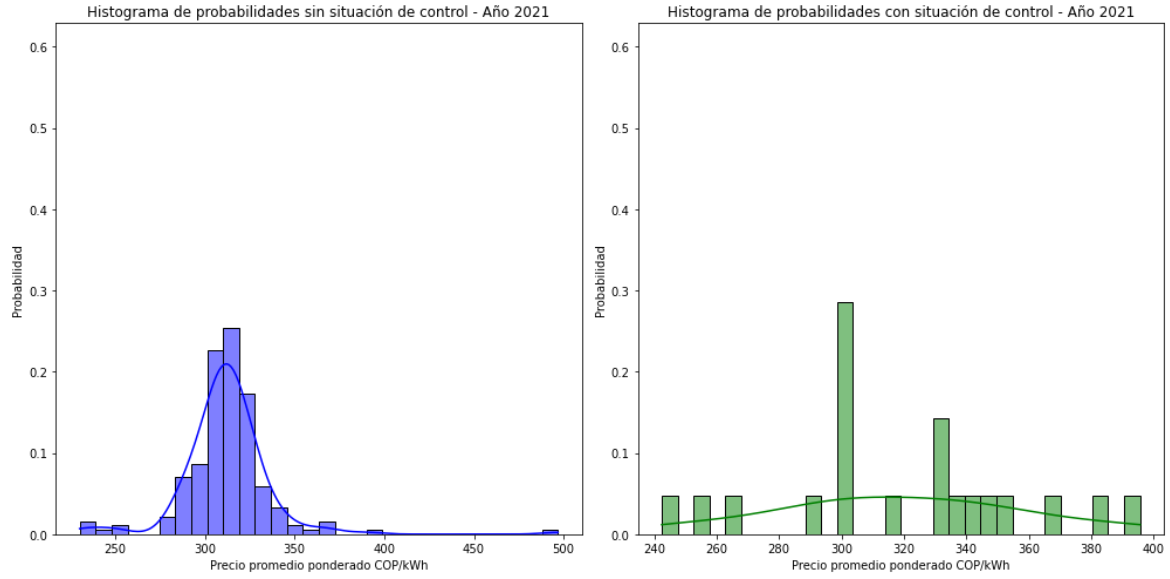
**Fig. 12.** Histograma de precios de contratos con y sin situación de control 2018



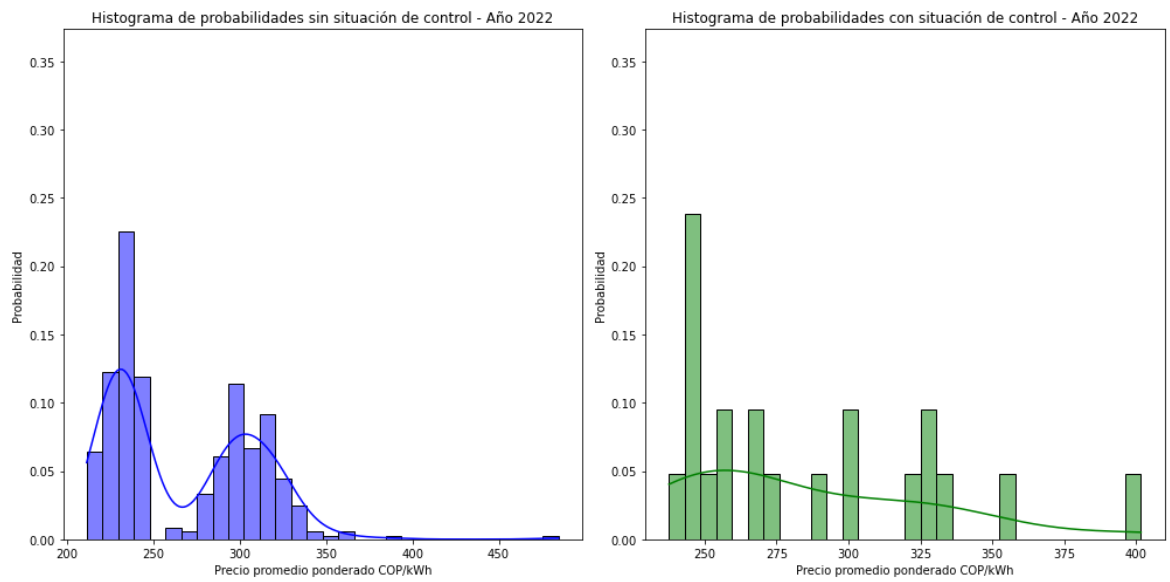
**Fig. 13.** Histograma de precios de contratos con y sin situación de control 2019



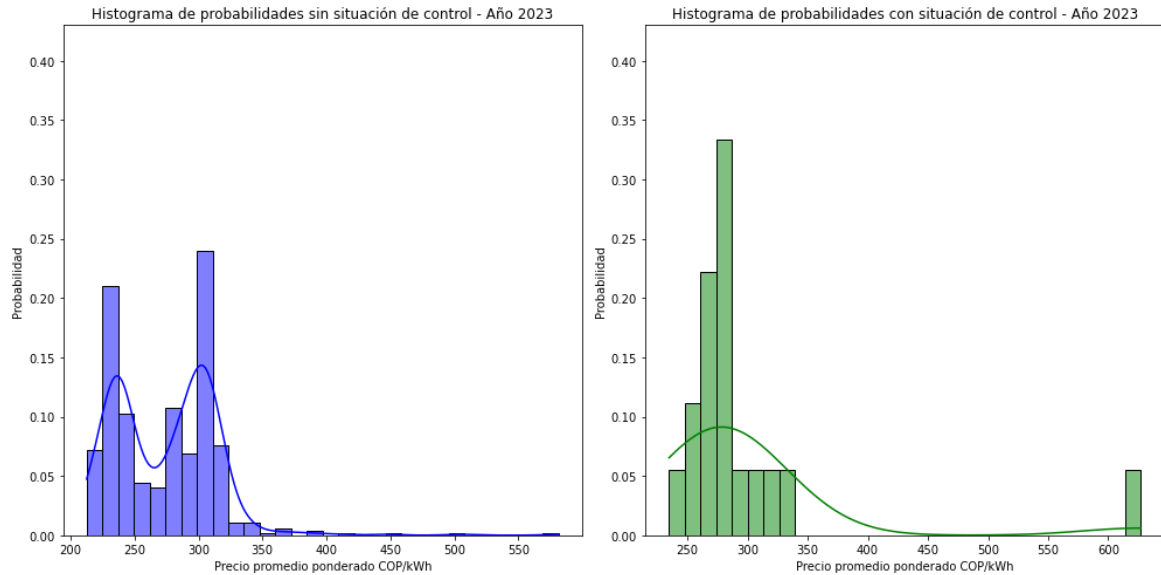
**Fig. 14.** Histograma de precios de contratos con y sin situación de control 2020



**Fig. 15.** Histograma de precios de contratos con y sin situación de control 2021



**Fig. 16.** Histograma de precios de contratos con y sin situación de control 2022



**Fig. 17.** Histograma de precios de contratos con y sin situación de control 2023

En tres de los años de análisis para los contratos sin situación de control, se presentan dos picos en la distribución, lo que sugiere una distribución bimodal al igual que en la **Fig. 8.** donde se analizaron los precios de todos los años. Esto indica que hay rangos de precios predominantes donde los precios tienen a agruparse. Como dato relevante a partir de la **Fig. 11.** Correspondiente al año 2017, se presenta que la moda de la función de probabilidad se mueve a la derecha, lo que indica un aumento en los precios de contratos, y desde la **Fig 16.** Correspondiente al año 2022 vuelve con una tendencia a la izquierda.

Respecto a los resultados obtenidos para la **P3**, se observa que los precios de contratos sin situación de control presentan una mayor dispersión y variabilidad en los precios, con tendencias a agruparse en rangos medios, pero con capacidad para alcanzar precios considerablemente altos, reflejando un mercado donde predominan la oferta y demanda. Por otro lado, los contratos con situación de control muestran una distribución más uniforme y concentrada, con precios más estabilizados y menos propensos a alcanzar valores extremos.

## 2.6 Conclusiones

En esta sección se presentan las conclusiones derivadas del análisis realizado para las preguntas de investigación planteadas, las cuales tienen como finalidad explicar el objetivo específico definido como: “Analizar el comportamiento de los precios contratados por las empresas con situación de control.”

- Hasta el año 2020, los precios promedio de contratos de los agentes sin situación de control, tenían un valor mayor a los precios de agentes con situación de control,

lo cual cambia a partir del año 2021, donde los precios promedio de los contratos con situación de control son superiores. Este cambio en la tendencia del nivel de los precios puede estar relacionado con la entrada en operación del Sistema de Información de Convocatorias Públicas-SICEP (Resolución CREG 130 de 2019), el cual inició operación a partir del año 2020 con la celebración de convocatorias públicas para la contratación en el mercado Regulado.

- La anticipación en la negociación de contratos de energía ejerce un impacto estadísticamente significativo en los precios promedio ponderados. Según lo demostrado por el modelo, existe una relación clara entre la anticipación y la reducción de precios en los contratos a medida que aumenta los años de anticipación en el registro del contrato.
- Los precios de contratos sin situación de control presentan una mayor dispersión y variabilidad en los precios, con tendencias a agruparse en rangos medios, pero con capacidad para alcanzar precios considerablemente altos, reflejando un mercado donde predominan la oferta y demanda. Por otro lado, los contratos con situación de control muestran una distribución más uniforme y concentrada, con precios más estabilizados y menos propensos a alcanzar valores extremos.

### **3. Análisis del comportamiento de contratación de los agentes con una participación en el mercado superior a los demás agentes.**

En este capítulo se desarrolla el objetivo específico “Analizar el comportamiento de contratación de los agentes con una participación en el mercado superior a los demás agentes”. Para ello, se responderán las siguientes preguntas de investigación, las cuales fueron previamente discutidas en el Capítulo 1:

- ¿Cuál es la diferencia de precios entre agentes con alta y baja participación en la demanda?
- ¿Son los precios entre agentes de alta participación inferiores a los de baja participación?
- ¿Cómo se distribuyen los precios de los contratos de los cuatro agentes que mayor demanda atienden?

Para la última pregunta de investigación, vale la pena recordar que, en el Mercado de Energía Mayorista, se presenta una concentración en cuatro agentes que atienden el 63% de la demanda regulada. Es por esta razón que se analizan únicamente los cuatro agentes con mayor demanda.

El resto de este Capítulo está organizado como sigue: en la Sección 3.1 se presenta la introducción; la Sección 3.2 describe la metodología empleada; la Sección 3.3 detalla la información utilizada; la Sección 3.4 expone la preparación de datos; la Sección 3.5 expone los resultados y la discusión correspondiente; finalmente, la Sección 3.6 presentan las conclusiones.

#### **3.1 Introducción**

El Mercado de Energía Mayorista (MEM) es un entorno dinámico en el cual diversos agentes atienden la demanda de los usuarios regulados, principalmente residenciales y que constituyen alrededor del 70% de la demanda total del sistema. Uno de los principales objetivos del regulador es incrementar la transparencia, la eficiencia, la confiabilidad y el establecimiento de precios justos, para lo cual se han implementado múltiples políticas regulatorias. Sin embargo, a pesar de estos esfuerzos, persisten desafíos significativos, especialmente en relación con la formación de precios, que impactan directamente a los consumidores finales.

El MEM se caracteriza por una clara concentración de la demanda en pocos agentes. Para el año 2023, existen 50 agentes que atendieron la demanda regulada y cuatro de ellos

atendieron el 63% de esta demanda. Estos cuatro agentes atienden el 19.6%, el 14.7%, el 14.4% y el 13.8% respectivamente. Esta concentración plantea interrogantes sobre la influencia de estos agentes dominantes en la configuración del mercado y en la formación de precios.

Dada la concentración significativa de la demanda en pocos agentes, resulta crucial realizar un análisis detallado del comportamiento de contratación de ellos. Este capítulo se enfoca en responder al objetivo "analizar el comportamiento de contratación de los agentes con una participación en el mercado superior a los demás agentes". En este contexto, la expresión superior a los demás agentes se refiere a aquellos agentes que atienden un porcentaje de la demanda superior al 13%.

Para ello, se abordan tres preguntas de negocio clave: La primera pregunta se centra en identificar la diferencia de precios entre agentes con alta y baja participación en la demanda, obteniendo la diferencia que se presenta entre los precios de los contratos de los agentes que atienden una mayor demanda. La segunda pregunta busca determinar cómo es la variabilidad en los precios entre agentes de alta y baja participación, realizando un análisis de la desviación estándar entre los precios de los agentes. La tercera pregunta investiga la distribución de los precios de los contratos de los cuatro agentes que mayor demanda atienden, con el objetivo de identificar cómo se distribuyen los precios de contratos de los agentes que atienden mayor demanda en el país.

Los resultados de este análisis son cruciales para entender cómo los agentes con mayor participación en el mercado podrían influir en las estructuras de precios, afectando la competitividad y la equidad. Mediante metodologías estadísticas y un enfoque analítico, este estudio ofrece insights valiosos para guiar decisiones regulatorias y la formulación de estrategias empresariales en el sector eléctrico.

## **3.2 Metodología**

En este capítulo, se aborda el análisis de tres preguntas de negocios enfocadas en el análisis del comportamiento de contratación de los agentes con una participación en el mercado superior a los demás. Para ello, se hace necesario definir la metodología para dar respuesta a cada pregunta negocio.

### **3.2.1 Metodología para la Pregunta 1**

Para responder a la pregunta ¿Cuál es la diferencia de precios entre agentes con alta y baja participación en la demanda? se analiza la diferencia en precios de contratos entre los agentes que tengan una mayor y menor participación en la demanda total regulada. Para analizar esta diferencia se realiza mediante un análisis de dispersión de los precios de contratos de cada uno y un análisis de comportamiento de medias.

### **3.2.2 Metodología para la Pregunta 2**

Para responder a la pregunta ¿Cómo es la variabilidad en los precios de los agentes con alta y baja participación? se analiza si los precios de contratos que se realizan entre agentes con una alta participación en el mercado presentan una mayor variabilidad a los que se realizan con agentes con una baja participación. Para analizar esta diferencia se realiza mediante un análisis de desviación estándar entre los precios de los agentes con alta participación y con baja participación.

### **3.2.3 Metodología para la Pregunta 3**

Para responder a la pregunta ¿Cómo se distribuyen los precios de los contratos de los cuatro agentes que mayor demanda atienden? se analiza cómo se distribuyen los precios de los contratos de los agentes que atienden la mayor parte de la demanda del país, mediante un análisis de dispersión de precios de contratos.

## **3.3 Información utilizada**

Para el análisis propuesto en este capítulo, se utilizan los datos publicados por el administrador del Mercado de Energía Mayorista, accesibles a través de los portales Sinergox<sup>4</sup> y SIMEM<sup>5</sup>. Estos datos incluyen los precios promedio ponderados de contratos, la energía despachada mensualmente y la demanda comercial atendida por cada uno de los agentes compradores desde enero de 2015 hasta diciembre de 2023. Esto equivale a un total de nueve años para el análisis. La información está desagregada por el agente comprador y vendedor y el año de despacho.

## **3.4 Preparación de datos**

Para realizar los análisis planteados, los precios de contratos fueron transformados a valores constantes de diciembre de 2023, con el fin de eliminar la influencia de la inflación en la serie de precios. Para ello, se emplea el Índice de Precios del Productor (IPP) de Oferta Interna publicado por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE)<sup>6</sup>.

Adicionalmente, se calculó el porcentaje de participación para cada agente comprador, calculado como la proporción de la demanda que atienden cada agente respecto a la demanda total del sistema en cada uno de los años.

---

<sup>4</sup> Portal de datos Sinergox (<https://sinergox.xm.com.co/Paginas/Home.aspx>)

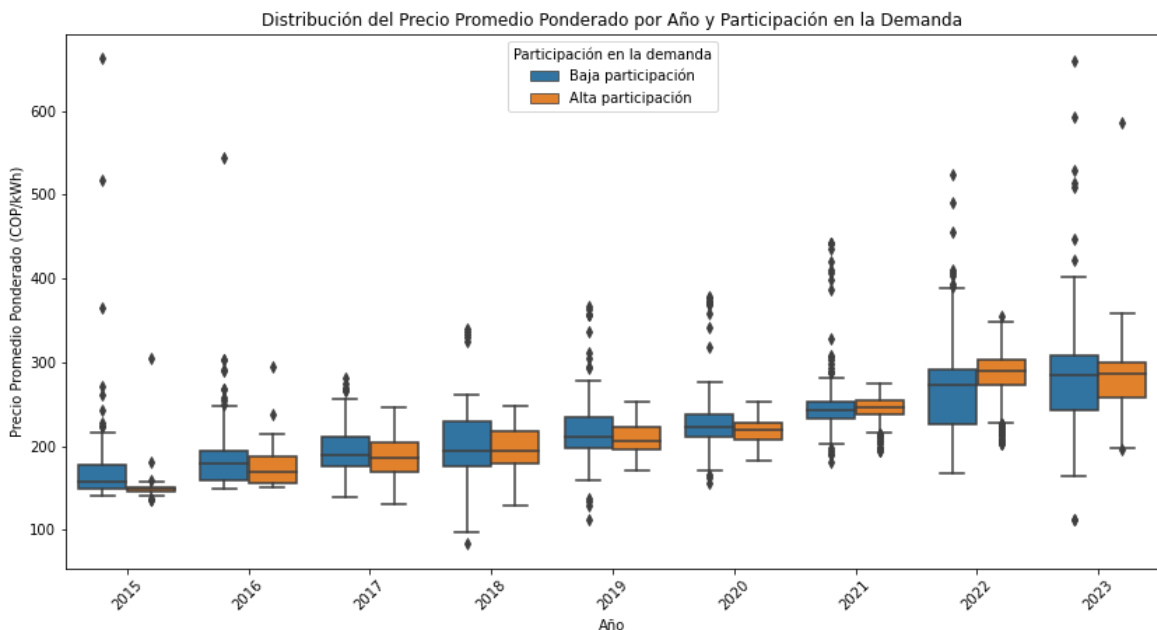
<sup>5</sup> Portal de datos abiertos SIMEM (<https://www.simem.co>)

<sup>6</sup> Publicación del IPP, página web DANE (<https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/precios-y-costos/indice-de-precios-del-productor-ipp>)

## 3.5 Resultados y Discusión

### 3.5.1 P1) ¿Cuál es la diferencia de precios entre agentes con alta y baja participación en la demanda?

Para responder esta pregunta se analizarán las distribuciones de precios de contratos para los agentes que presentan una alta participación en la demanda y los que tienen una baja participación en el mercado regulado. Para el caso de agentes con alta participación, se consideran aquellos que tienen una demanda superior al 13% y los agentes con baja participación los que tienen una demanda menor o igual al 13%. En la **Fig. 18** se presenta la distribución del precio promedio ponderado de los contratos de energía para el mercado regulado en el MEM, diferenciada por año de despacho de los contratos y para aquellos con alta y baja participación. Cada boxplot representa la distribución de precios para cada año de despacho y participación. Los datos graficados como puntos atípicos corresponden a la información específica del precio de una empresa para un año determinado.



**Fig. 18.** Distribución del Precio Promedio Ponderado por Año y Participación en la Demanda

El análisis de los datos en la **Fig. 18** muestra que, aunque no hay diferencias significativas en los precios promedio ponderados entre las dos categorías de participación, existe una mayor variabilidad en los agentes con baja participación, lo que sugiere una mayor fluctuación de precios dentro de esta categoría. En ambos casos, los precios han mostrado una tendencia al alza con los años, lo que refleja cambios en la dinámica del mercado. Además, los valores atípicos (los cuales tienen una distancia superior a 1.5 veces desviaciones estándar de la mediana) son más frecuentes y extremos en la categoría de

baja participación, indicando que los agentes con una menor participación pueden estar más expuestos a fluctuaciones o precios atípicos a los que pueden acceder.

Al analizar algunas estadísticas descriptivas revelan que los precios promedio ponderados para los agentes con alta participación varían desde 151.67 en 2015 hasta 279.83 en 2023, mientras que para los agentes con baja participación varían desde 173.31 en 2015 hasta 279.89 en 2023. A pesar de que las medias no difieren significativamente, la mayor desviación estándar se presenta en los agentes con baja participación donde se destaca su variabilidad. Los valores atípicos, presentes en varios años, especialmente en 2015, 2016, 2018, 2019, 2021, 2022 y 2023, tienen un impacto considerable en los resultados, dado que pueden influir en el cálculo de medias y medianas por año.

En la **Tabla 2** se encuentra los resultados del análisis de comportamiento, el cual se realiza mediante una técnica estadística (t Student) para comparar las medias de diferentes grupos y determinar si existen diferencias significativas entre ellas. Para este análisis, nos centramos en comparar las medias de los precios promedio ponderados de contratos, entre los agentes con alta y baja participación para los años desde 2015 al 2023. Esto nos permite entender cómo varían los precios entre diferentes categorías y a lo largo del tiempo.

**Tabla 2.** Prueba Estadística Comportamiento de Medias

Año	Estadístico t	Valor p	Media alta Participación COP/kWh	Media baja Participación COP/kWh	Diferencia de Medias
2015	- 3.569	0.0005	151.67	173.31	- 21.64
2016	- 2.758	0.0064	174.52	185.48	- 10.97
2017	- 1.688	0.0937	187.80	193.18	- 5.38
2018	- 1.483	0.1390	196.95	201.95	- 5.00
2019	- 3.395	0.0008	209.07	217.51	- 8.44
2020	- 4.275	0.0000	218.27	226.38	- 8.11
2021	- 1.430	0.1534	244.51	247.68	- 3.17
2022	7.674	0.0000	283.68	266.46	17.22
2023	- 0.021	0.9832	279.83	279.89	- 0.06

El análisis estadístico presentado en la **Tabla 2** y realizado mediante pruebas t independientes para cada año revela diferencias significativas en los precios promedio ponderados entre los agentes con alta y baja participación en varios años específicos. En los años 2015, 2016, 2019, 2020 y 2022, los valores p obtenidos fueron menores a 0.05, indicando diferencias significativas en las medias de los precios entre las dos categorías para esos años. En particular, los años 2020 y 2022 mostraron las diferencias más notables con valores p extremadamente bajos (<0.0001). En contraste, para los años 2017, 2018, 2021 y 2023, no se encontraron diferencias significativas entre las categorías, lo que sugiere que en estos períodos las medias de los precios fueron similares

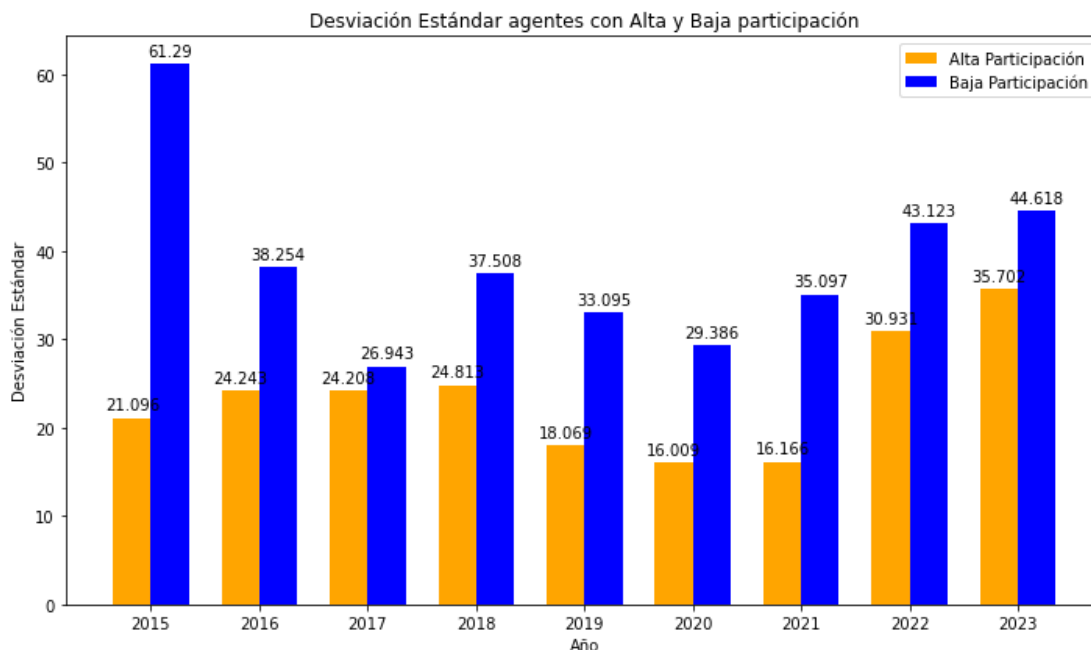
independientemente del nivel de participación. Estos resultados destacan la variabilidad en la influencia de la categoría de participación en los precios a lo largo del tiempo, sugiriendo que factores adicionales al porcentaje de demanda que atienden los agentes pueden estar en juego en ciertos años, afectando la estructura de precios del mercado.

Respecto a los resultados obtenidos en la **P1**, el análisis de las diferencias de precios promedio ponderados de contratos entre agentes con alta y baja participación en la demanda revela que, en general, las diferencias no son consistentemente significativas a lo largo del tiempo. Aunque hay años en los que los agentes con alta participación presentan precios superiores, estas diferencias no son uniformes en el tiempo, lo que implica que otros factores también juegan un papel importante en la determinación de los precios en el mercado y por lo tanto no se encontraron diferencias significativas entre los precios de cada categoría.

### **3.5.2 P2) ¿Cómo es la variabilidad en los precios de los agentes con alta y baja participación?**

Para responder esta pregunta se analiza cómo es la variabilidad de los precios de contratos entre agentes con una alta y baja participación en el mercado. Para ello, al igual que en la **P1**, se consideran agentes con alta participación los que tienen una demanda superior al 13% y los agentes con baja participación los que tienen una demanda menor o igual al 13%.

En la **Fig. 19** se presenta el resultado del análisis de desviación estándar, que permite evaluar la dispersión de los precios entre dos grupos de agentes: aquellos con alta participación y aquellos con baja participación en el mercado. La desviación estándar proporciona una indicación de cuánto varían los precios respecto al valor promedio, siendo una medida clave para entender la estabilidad de los precios en cada grupo. Una menor desviación estándar indica que los precios están más concentrados alrededor de la media, indicando menor variabilidad y, potencialmente, un mercado más estable. Por otro lado, una mayor desviación estándar indica una mayor dispersión de los precios, reflejando mayor variabilidad, incertidumbre o fluctuación.



**Fig. 19.** Desviación Estándar agentes con Alta y Baja participación

Como respuesta a la **P2**, se encontró que la variabilidad en los precios de los agentes con alta y baja participación muestra diferencias significativas según el análisis de desviación estándar realizado en el periodo de análisis. Los agentes de alta participación presentan una menor desviación estándar, lo que indica que sus precios son más estables y menos variables. Esta menor variabilidad se traduce en una mayor previsibilidad y menor riesgo financiero para estos agentes, ya que pueden anticipar mejor sus ingresos y planificar estrategias de mercado con mayor certeza. En contraste, los agentes de baja participación experimentan una mayor variabilidad en los precios, reflejando una mayor incertidumbre y riesgo financiero. La fluctuación en sus precios puede dificultar la planificación financiera y aumentar la exposición a riesgos de mercado.

### **3.5.3 P3) ¿Cómo se distribuyen los precios de los contratos de los cuatro agentes que mayor demanda atienden?**

Para responder esta pregunta se analiza la distribución de los precios de los contratos de los 4 agentes que mayor demanda atendieron en el año 2023, los cuales atendieron 19.6%, el 14.7%, el 14.4% y el 13.8% respectivamente de la demanda nacional durante el año 2023. Esta demanda en Colombia se concentra principalmente en 3 regiones, Caribe, Centro y Antioquia, por lo cual en este análisis se consideran los agentes que atendieron estas regiones durante el periodo de 2015 al 2023 y algunos cambios de nombre, cesiones e intervenciones que afectaron la composición de la demanda y la participación en su atención durante el periodo de análisis. Por ejemplo, para la demanda de la región Caribe durante los años 2015 al 2019 el agente que mayor demanda atendió fue Electricaribe con un promedio de 28% y a partir del año 2020 esta demanda fue dividida en 2 áreas que a

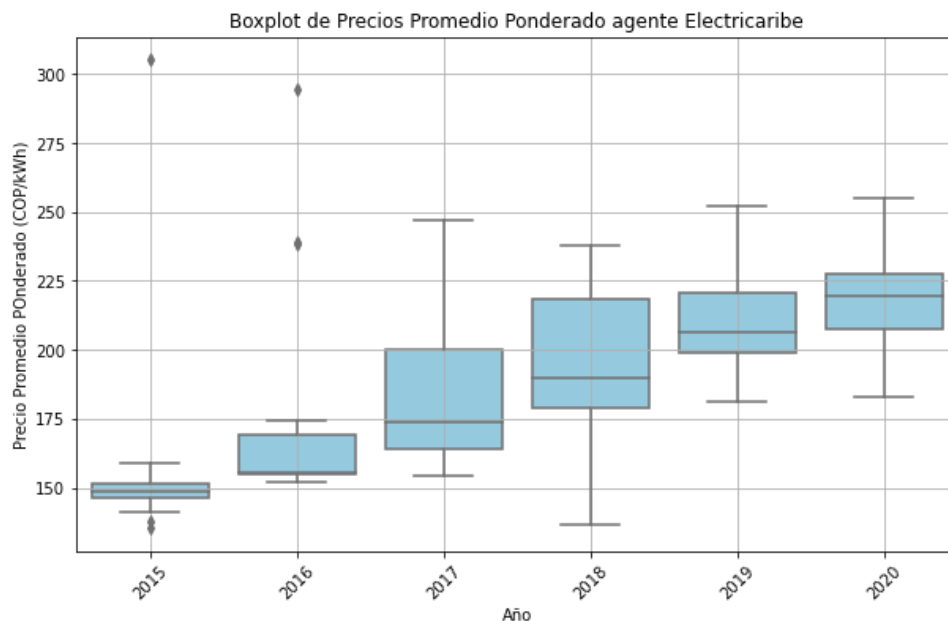
partir de este año fueron representadas por Air-e y Caribemar de la Costa, las cuales han atendido en promedio el 14% cada una. Además, durante los años 2015 al 2021 la demanda del centro del país fue atendida por el agente Codensa con un promedio del 21% y a partir del año 2022 fue cedido al agente Enel, quien representa desde esta fecha en promedio el 20% de la demanda.

De acuerdo con lo anterior, el análisis requerido para dar respuesta a la **P2** se realiza agrupando por nombre las empresas de mayor participación que atendieron la demanda durante el periodo de análisis.

### Caso 1. Empresas que atienden la demanda en la región Caribe.

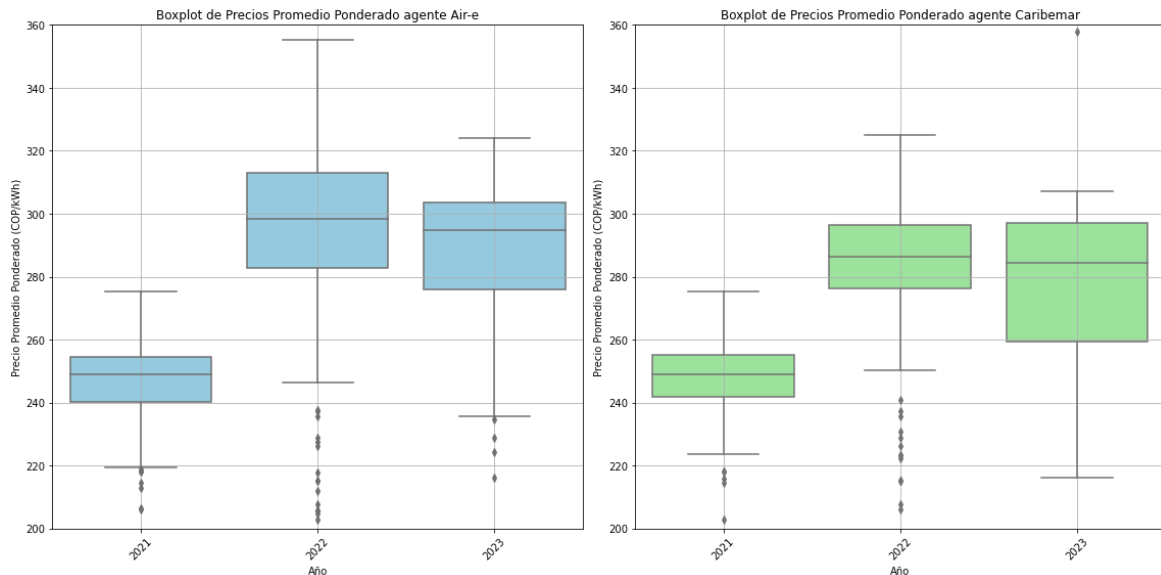
Para este caso, se realiza el análisis considerando que desde el año 2015 al 2020 los precios de contratos del agente Electricaribe, y a partir del año 2021 se realiza el análisis para las empresas Air-e y Caribemar de forma separada, dado que cada una realiza sus operaciones de forma independiente.

En la **Fig. 20** se presenta la distribución de precios promedio ponderado de contratos del agente Electricaribe, donde se observa que la mediana de los precios presenta una tendencia al alza entre los diferentes años, reflejando fluctuaciones en el mercado. El rango intercuartíl muestra una dispersión moderada, indicando que la mayoría de los precios están concentrados en un rango específico. Además, se observan varios valores atípicos fuera de los bigotes del boxplot, sugiriendo la presencia de precios significativamente más altos o bajos en ciertos períodos.



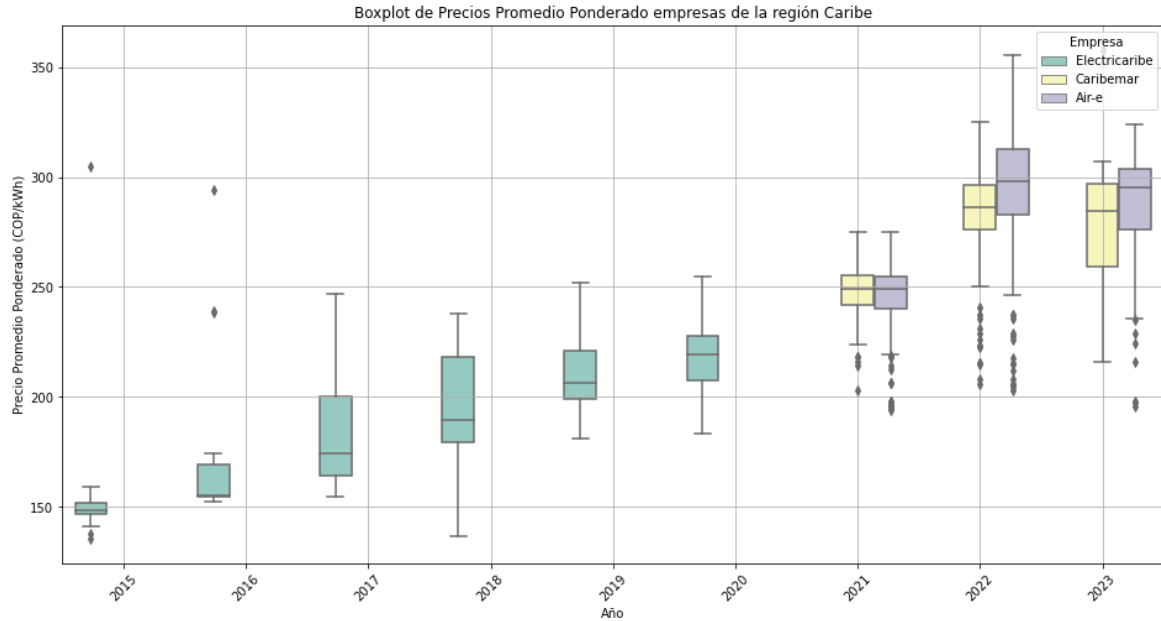
**Fig. 20.** Boxplot de Precios Promedio Ponderado agente Electricaribe

En la **Fig. 21** se presenta el análisis comparativo de los precios promedio ponderado para los agentes compradores Air-e y Caribemar. Los resultados muestran que el agente Air-e tiene una mayor dispersión de precios, indicando fluctuaciones significativas, mientras que Caribemar presenta una tendencia más estable. Ambos agentes exhiben valores atípicos, reflejando eventos extraordinarios en el mercado. Estas diferencias pueden atribuirse a las estrategias de compra y condiciones contractuales específicas de cada agente.



**Fig. 21.** Boxplot de Precios Promedio Ponderado agentes Air-e y Caribemar

En la **Fig. 22** se presenta el análisis de los precios promedio ponderado para las empresas Electricaribe, Caribemar y Air-e, visualizado a través de gráficos boxplot, revela una variabilidad significativa en los precios a lo largo del tiempo para cada empresa. Los datos muestran que cada empresa presenta diferentes patrones de dispersión y estabilidad en sus precios. Electricaribe exhibe una mayor dispersión en comparación con Caribemar y Air-e, indicando fluctuaciones más pronunciadas en sus precios de contratos. Caribemar, por otro lado, muestra una tendencia más estable con menos variabilidad, lo que podría reflejar contratos o condiciones de compra más constantes. Air-e también presenta variabilidad, aunque con algunas anomalías notables. Estos resultados subrayan la importancia de analizar individualmente los comportamientos de cada agente en el mercado eléctrico para desarrollar estrategias de compra adaptadas a sus particularidades, optimizando así la toma de decisiones y la gestión de costos energéticos.

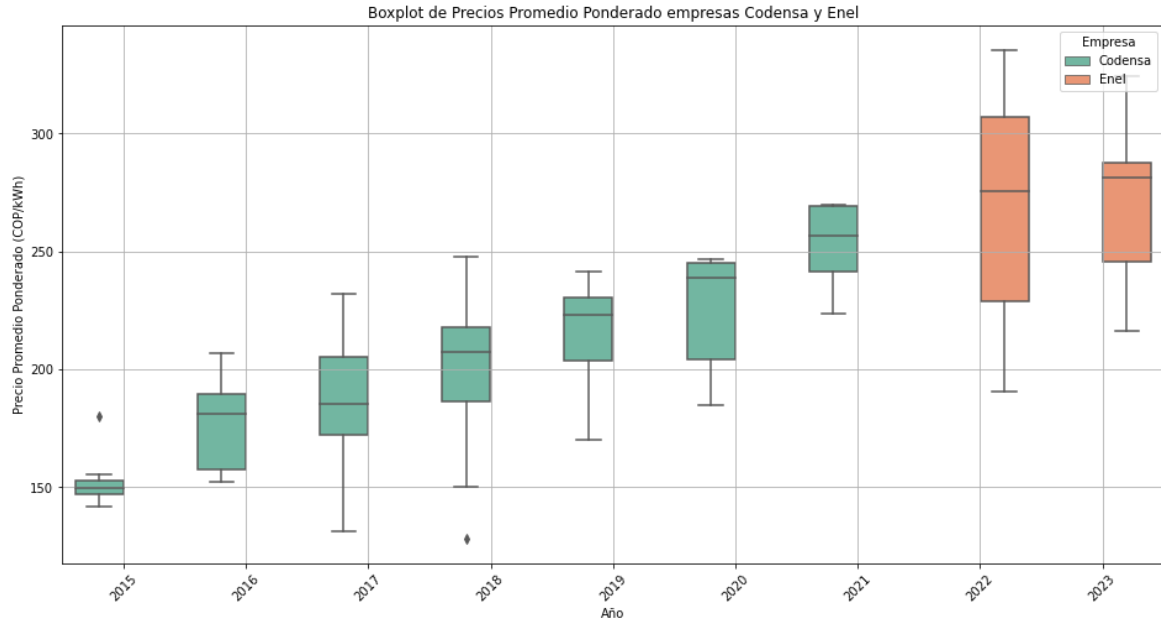


**Fig. 22.** Boxplot de Precios Promedio Ponderado empresas de la región Caribe

### Caso 2. Empresas que atienden la demanda en la región Centro.

Para este caso se analiza la demanda del centro del país para los años 2015 al 2021, la cual fue atendida principalmente por el agente Codensa (21% de la demanda). A partir del año 2022, esta demanda fue cedida al agente Enel quién representa en promedio el 20% de la demanda.

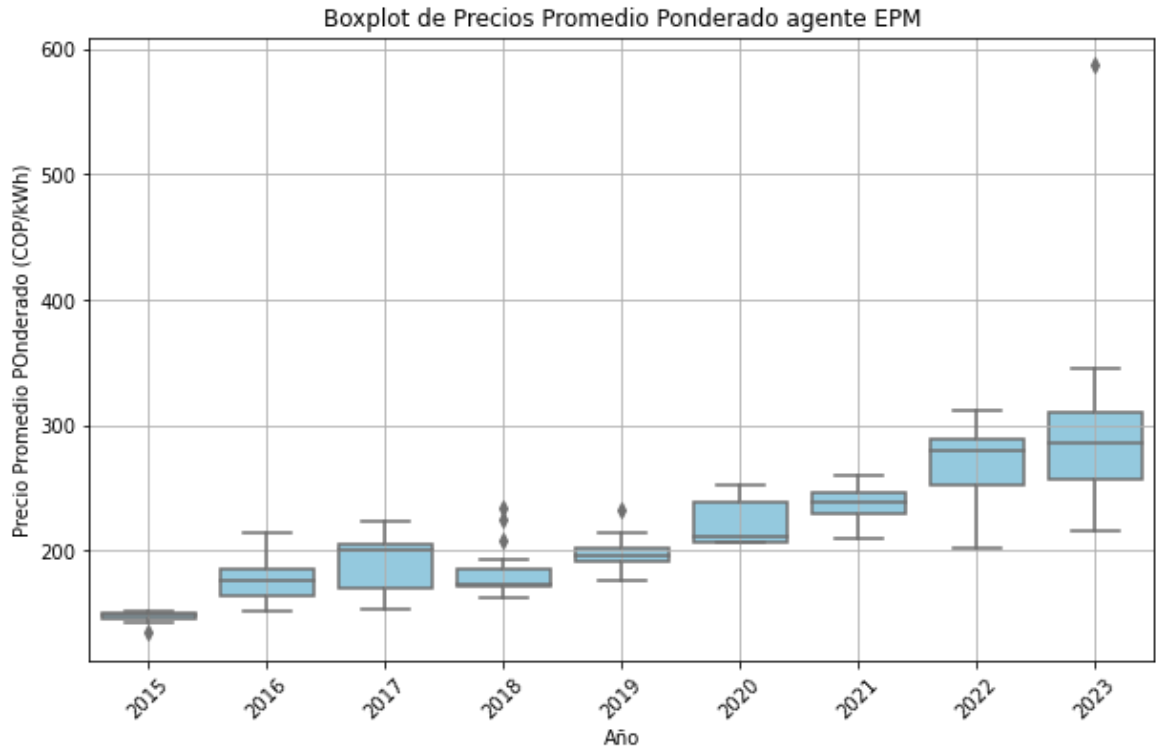
En la **Fig. 23** se presenta el análisis de los precios promedio ponderado para las empresas Codensa y Enel, donde se revela que Enel presenta una mayor variabilidad en los precios en comparación con Codensa. Esto se observa en la amplitud de los rangos intercuartíl y la presencia de más valores atípicos en los datos de Enel, indicando fluctuaciones más pronunciadas en sus costos de energía. Por otro lado, Codensa muestra una distribución de precios más consistente y menos variable. Realizando un análisis general para toda la serie de precios de contratos, se observa que las fluctuaciones en los precios indican la influencia de diversos factores del mercado eléctrico, lo que resalta la necesidad de estrategias de compra que permitan disminuir posibles riesgos. Además, se observa una tendencia creciente en los precios de contratos desde los años en que la demanda fue atendida por el agente Codensa y cuando fue atendida por el Agente Enel, lo cual indica que si bien se presentó un cambio en el agente que representó la demanda, este último continuó la misma estrategia de contratación.



**Fig. 23.** Boxplot de Precios Promedio Ponderado de las empresas Codensa y Enel

### Caso 3. Empresa que atiende la demanda en la región Antioquia.

Para este caso la demanda en la región Antioquia fue atendida por el agente EPM, quién representó en promedio durante el periodo de análisis un 14% de la demanda. La **Fig. 24** presenta el análisis de los precios promedio ponderado para el agente EPM. La dispersión de los datos sugiere fluctuaciones significativas en los precios entre diferentes años, lo que podría ser consecuencia de cambios en las condiciones del mercado o eventos en la contratación.



**Fig. 24.** Boxplot de Precios Promedio Ponderado agente EPM

Además, se observan varios valores atípicos en el gráfico, indicados por puntos fuera del rango intercuartil. Estos valores atípicos representan años en los que los precios de contratos fueron significativamente más altos o bajos que lo habitual. La presencia de estos valores puede deberse a eventos extraordinarios en la contratación del agente. Por lo tanto, identificar y analizar estos valores atípicos es crucial para comprender las causas de estas desviaciones extremas y para implementar medidas que puedan mitigar su impacto en el futuro, así como posibles riesgos financieros para el agente.

Para dar respuesta a la **P3** sobre la distribución de los precios de contratos de los agentes que atienden mayor demanda, estos revelan una distribución variada de los precios a lo largo del tiempo e indican que los precios presentan una amplia dispersión, con fluctuaciones significativas y la presencia de varios valores atípicos que destacan eventos extraordinarios en el mercado eléctrico. Estos resultados sugieren que los precios de los contratos están influenciados por una combinación de factores del mercado, variaciones en la oferta y demanda, y posibles situaciones climáticas que afecten los precios de contratos. En general, la distribución de los precios refleja una dinámica de mercado compleja y volátil, subrayando la necesidad de estrategias de compra y gestión de costos robustas y adaptativas para manejar eficazmente estas variaciones.

## 3.6 Conclusiones

En esta sección se presentan las conclusiones derivadas del análisis realizado para las preguntas de investigación planteadas, las cuales tienen como finalidad explicar el objetivo específico definido como: “Analizar el comportamiento de contratación de los agentes con una participación en el mercado superior a los demás.”

- El análisis de las diferencias de precios promedio ponderados de contratos entre agentes con alta y baja participación en la demanda revela que, en general, las diferencias no son consistentemente significativas a lo largo del tiempo. Aunque hay años en los que los agentes con alta participación presentan precios superiores, estas diferencias no son uniformes en el tiempo, lo que implica que otros factores también juegan un papel importante en la determinación de los precios en el mercado y por lo tanto no se encontraron diferencias significativas entre los precios de cada categoría.
- Los agentes de alta participación presentan una menor desviación estándar, lo que indica que sus precios son más estables y menos variables. Esta menor variabilidad se traduce en una mayor previsibilidad y menor riesgo financiero para estos agentes, ya que pueden anticipar mejor sus ingresos y planificar estrategias de mercado con mayor certeza. En contraste, los agentes de baja participación experimentan una mayor variabilidad en los precios, reflejando una mayor incertidumbre y riesgo financiero. La fluctuación en sus precios puede dificultar la planificación financiera y aumentar la exposición a riesgos de mercado.
- Los agentes que atienden mayor demanda revelan una distribución variada de los precios a lo largo del tiempo e indican que los precios presentan una amplia dispersión, con fluctuaciones significativas y la presencia de varios valores atípicos que destacan eventos extraordinarios en el mercado eléctrico. Esta distribución de los precios refleja una dinámica de mercado compleja y volátil, subrayando la necesidad de estrategias de compra y gestión de costos robustas y adaptativas para manejar eficazmente estas variaciones.

## **4. Análisis de las relaciones entre el precio de contratos y diferentes variables del mercado que pueden inferir en la formación de los precios.**

En este capítulo se desarrolla el objetivo específico “Analizar las relaciones entre el precio de contratos y diferentes variables del mercado que pueden inferir en la formación de los precios.”. Para ello, se responderán las siguientes preguntas de investigación, las cuales fueron previamente discutidas en el Capítulo 1:

- ¿Cómo afectan la volatilidad y expectativa del precio de bolsa a los precios de contratos en un periodo determinado?
- ¿Cuál es el impacto de fenómenos climáticos como El Niño o La Niña en los precios?
- ¿Influye la entrada de proyectos de generación renovable en los precios de los contratos?

El resto de este Capítulo está organizado como sigue: en la Sección 4.1 se presenta la introducción; la Sección 4.2 describe la metodología empleada; la Sección 4.3 detalla la información utilizada; la Sección 4.4 expone la preparación de datos; la Sección 4.5 expone los resultados y la discusión correspondiente; finalmente, la Sección 4.6 presentan las conclusiones.

### **4.1 Introducción**

En el contexto del Mercado de Energía Mayorista (MEM) en Colombia, la formación de precios de los contratos de energía eléctrica es un factor crucial que afecta tanto a los participantes del mercado como a los consumidores finales. La estabilidad y equidad en los precios son esenciales para garantizar un suministro de energía confiable y asequible, lo que a su vez influye en el bienestar económico y social del país. Los contratos bilaterales de largo plazo, que establecen precios fijos y cantidades de energía a suministrar, juegan un papel fundamental al proporcionar una cobertura estable frente a la volatilidad de los precios en la bolsa de energía. Sin embargo, estos contratos no siempre cubren la totalidad de la demanda, lo que obliga a los compradores a recurrir al mercado spot, donde los precios son más volátiles.

Este capítulo se centra en analizar las relaciones entre el precio de los contratos de energía y diversas variables del mercado que pueden influir en la formación de dichos precios. La identificación de patrones de comportamiento y la influencia de factores externos, como la oferta y demanda, la volatilidad del precio de bolsa, fenómenos climáticos como El Niño y

La Niña, la entrada de nuevos proyectos de generación con precios más bajos y las condiciones macroeconómicas, son esenciales para comprender si existe una influencia significativa de estas variables en los precios de los contratos.

La importancia de este análisis radica en la capacidad de ofrecer una perspectiva integral sobre cómo se forman los precios de los contratos en el mercado energético colombiano. Un entendimiento profundo de estas relaciones permitirá a los participantes del mercado regulado tomar mejores decisiones, promoviendo así un entorno de mercado más justo y eficiente.

Para ello, se abordan tres preguntas de negocio clave: La primera pregunta se centra en cómo afectan la volatilidad y expectativa del precio de bolsa a los precios de contratos en un periodo determinado. La segunda pregunta busca determinar cuál es el impacto de fenómenos climáticos como El Niño o La Niña en los precios. La tercera pregunta investiga cómo influye la entrada de proyectos de generación renovable en los precios de los contratos.

El objetivo principal de este capítulo es analizar detalladamente cómo las variables del mercado influyen en la formación de los precios de los contratos de energía eléctrica. Este análisis es crucial para entender los factores que pueden influir en la formación de los precios de contratos, garantizando que los precios reflejen adecuadamente las dinámicas de oferta y demanda y contribuyan al bienestar económico y social de Colombia.

## **4.2 Metodología**

En este capítulo, se aborda el análisis de las tres preguntas de negocios planteadas en la introducción, las cuales están enfocadas en el análisis de las relaciones entre el precio de contratos y diferentes variables del mercado que pueden inferir en la formación de los precios. Para ello, se hace necesario definir la metodología para dar respuesta a cada pregunta negocio.

### **4.2.1 Metodología para las Preguntas 1, 2 y 3**

Para responder a las preguntas de investigación sobre el impacto de la volatilidad, la expectativa de precios, los fenómenos climáticos y la entrada de proyectos de generación renovable en los precios de los contratos, se estimaron un modelo de regresión lineal y un modelo de árboles de regresión. La estimación se basó en las siguientes consideraciones:

Para el modelo de regresión lineal, la configuración óptima se obtiene al determinar el conjunto de regresores óptimos. En el caso del modelo de árboles de regresión, la configuración óptima implica determinar el conjunto de regresores óptimos y los mejores parámetros para el árbol de regresión. En la implementación utilizada se utiliza una prueba ANOVA de regresión que permite ordenar las variables independientes de mayor a menor importancia. Una vez ordenadas, se consideran los subconjuntos conformados por la variable más relevante, las dos variables más relevantes, las tres variables más relevantes

y así sucesivamente. En el caso del modelo de regresión lineal, esto equivale al método de selección forward, ya que este modelo no tiene hiper parámetros. En el caso del árbol de regresión, se estiman modelos que difieren en la cantidad de variables relevantes y diversos parámetros del árbol, como la profundidad máxima y el número mínimo de muestras por hoja. Los valores óptimos de estos hiper parámetros son obtenidos usando validación cruzada.

Ambos modelos, el de regresión lineal y el de árboles de regresión, fueron evaluados utilizando las métricas de MSE y  $R^2$ . La validación cruzada se aplicó en ambos casos para asegurar la robustez y generalización de los modelos. Los resultados obtenidos permitieron comparar la precisión y el error de predicción de cada enfoque, proporcionando una visión clara de cuál modelo se ajusta mejor a los datos y ofrece mejores predicciones para la variable dependiente.

### 4.3 Información utilizada

Para el análisis propuesto en este capítulo, se utilizan los datos publicados por el administrador del Mercado de Energía Mayorista, accesibles a través de los portales: Sinergox<sup>7</sup>, SIMEM<sup>8</sup>, XM<sup>9</sup> y Climate Prediction Center<sup>10</sup>. Estos datos incluyen los precios promedio ponderados de contratos, la energía despachada mensualmente, precio de bolsa nacional, Índice ONI (Oceanic Niño Index) y entrada de nuevos proyectos a la matriz de generación.

### 4.4 Preparación de datos

Para realizar los análisis planteados, los precios de contratos fueron transformados a valores constantes de diciembre de 2023, con el fin de eliminar la influencia de la inflación en la serie de precios. Para ello, se empleó el Índice de Precios del Productor (IPP) de Oferta Interna publicado por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE)<sup>11</sup>.

---

<sup>7</sup> Portal de datos Sinergox (<https://sinergox.xm.com.co/Paginas/Home.aspx>)

<sup>8</sup> Portal de datos abiertos SIMEM (<https://www.simem.co>)

<sup>9</sup> Portal de XM (<https://www.xm.com.co/>)

<sup>10</sup> Portal National Weather Service

([https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_v5.php](https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php))

<sup>11</sup> Publicación del IPP, página web DANE (<https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/precios-y-costos/indice-de-precios-del-productor-ipp>)

## 4.5 Resultados y Discusión

Para dar respuesta a las tres preguntas de investigación sobre el impacto de la volatilidad y la expectativa del precio de bolsa en los precios de los contratos, el efecto de fenómenos climáticos como El Niño y La Niña, y la influencia de la entrada de proyectos de generación renovable, se realizó un análisis utilizando el modelo de regresión lineal y el modelo de árboles de regresión. Ambos modelos consideran de manera integral todas las variables relevantes asociadas con cada una de las preguntas planteadas.

### 4.5.1 Variables utilizadas

Se incluyeron en el análisis las siguientes variables: la volatilidad del precio de bolsa, el precio de bolsa promedio ponderado, el Índice ONI para evaluar el impacto de los fenómenos climáticos, y las capacidades efectivas netas tanto total como de fuentes no convencionales de energías renovables para analizar la influencia de nuevos proyectos de generación. Adicionalmente, se incluyeron nuevas columnas correspondientes al precio de los contratos y precio de bolsa de 12 y 24 meses atrás, que reflejan las expectativas del precio de bolsa y de contratos que se tenía un tiempo atrás y que permiten capturar su influencia en los precios de los contratos. Estos meses fueron seleccionados debido a que se testearon varios meses y se encontró que la combinación de 12 y 24 meses presentaba como resultado el  $R^2$  más alto, adicionalmente, esto es coherente con los resultados obtenidos en la **P2** del Capítulo 2, donde se encontró que la anticipación tiene un efecto en los precios de contratos y que la mayor cantidad de ellos son adjudicados entre 1 y 2 años de anterioridad. De esta forma, el modelo proporcionó una visión de cómo cada uno de estos factores contribuye a la formación de los precios de los contratos de energía, permitiendo responder a las preguntas de investigación de manera precisa.

### 4.5.2 Modelo de regresión lineal

Para desarrollar el modelo de regresión lineal, se crearon nuevas variables que representan la expectativa del precio tanto de contratos como de bolsa con retardo de 12 y 24 meses. Luego, se seleccionaron como variables independientes la CEN total, los precios de contratos de 12 y 24 meses atrás, y el precio de bolsa ponderado de 24 meses atrás para predecir la variable dependiente.

Para la obtención del modelo óptimo de regresión lineal se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

- La totalidad de la muestra de datos fue dividida en conjuntos de entrenamiento y de prueba. El conjunto de entrenamiento está conformado por el 80% de la información disponible. El conjunto de entrenamiento es usado para obtener la configuración óptima del modelo de regresión lineal, la cual equivale a determinar el conjunto óptimo de regresores. El conjunto de prueba está conformado por el 20% la información restante y se usa para tener una estimación de la precisión del

pronóstico del modelo cuando se usan datos por fuera de la muestra de entrenamiento.

- El conjunto de entrenamiento se usa para estimar los coeficientes óptimos del modelo de regresión lineal y seleccionar el mejor conjunto de regresores. Esto se realiza utilizando la técnica K-Fold Crossvalidation. El lector interesado en esta metodología puede encontrar información detallada en la guía del usuario del paquete Scikit-learn de Python.
- Para evaluar el rendimiento del modelo, se calcularon el error cuadrático medio (MSE) y el coeficiente de determinación ( $R^2$ ).

Las métricas calculadas para el modelo de regresión lineal se presentan en la **Tabla 3**. Estas métricas fueron calculadas sobre la totalidad de los datos para la configuración óptima del modelo de regresión lineal. Adicionalmente al análisis presentado, este mismo modelo fue utilizado para obtener los pronósticos del año 2023. Esto permitió tener un estimativo del desempeño del modelo con información que no fue utilizada para obtener su configuración óptima. Las métricas de este modelo se presentan de igual manera en la **Tabla 3**.

**Tabla 3.** Estadísticos de los modelos de regresión lineal y árboles de regresión

<b>Estadístico</b>	<b>Modelo Regresión Lineal</b>	<b>Modelo Árbol Regresión</b>
Periodo 2000 al 2022		
○ Error cuadrado medio	142.8674	15.0051
○ R-Cuadrado	0.9465	0.9943
Periodo 2023		
○ Error cuadrado medio	164.1828	14.7072
○ R-Cuadrado	0.9435	0.9943

Por otra parte, la **Tabla 4** presenta los valores reales y los pronósticos obtenidos para el año 2023.

**Tabla 4.** Pronósticos del precio promedio de contratos (COP/kWh) del modelo de regresión lineal y árbol de regresión

Mes	Precio promedio ponderado contratos	Regresión Lineal	Árbol de Regresión
2023-01-01	276.46	292.58	280.98
2023-02-01	278.69	294.67	280.98
2023-03-01	275.97	291.74	280.98
2023-04-01	277.05	292.48	280.98
2023-05-01	279.16	293.82	280.98
2023-06-01	280.15	294.20	280.98
2023-07-01	280.56	293.32	280.98
2023-08-01	280.74	295.43	280.98
2023-09-01	282.61	294.38	280.98
2023-10-01	283.66	286.60	280.98
2023-11-01	281.46	283.33	288.40
2023-12-01	282.62	287.74	280.98

Al entrenar el modelo de regresión lineal para el periodo completo, se obtuvo un error cuadrático medio (MSE) de 116.7916. El coeficiente de determinación ( $R^2$ ) es de 0.9558, lo que sugiere que el 95.6% de la variabilidad en el Precio promedio ponderado contratos se explica por las variables independientes seleccionadas. Estos resultados son presentados en la **Tabla 3**.

Los resultados muestran que el modelo ha logrado predecir los precios con un grado razonable de precisión. La **Tabla 3**. evidenció la capacidad del modelo para capturar la tendencia general del precio promedio ponderado de los contratos, si bien puede haber variaciones que sugieren la necesidad de ajustes adicionales o consideraciones de factores externos no capturados en las variables del modelo.

### 4.5.3 Variables independientes seleccionadas

Para comprender mejor las dinámicas del mercado de contratos de energía, se realizó un análisis de correlación de las variables clave que influyen en los precios de estos contratos. Este análisis se centró en identificar y cuantificar la relación entre diferentes variables explicativas y el precio de los contratos, utilizando el coeficiente de correlación de Pearson como medida estadística. Como resultado se encontró que el precio de contratos a 12 meses muestra la mayor correlación con el precio de contratos (0.9739), indicando que los precios históricos a corto plazo son un predictor robusto de los precios actuales. La expectativa del precio de contratos a 24 meses también presenta una alta correlación (0.9326), subrayando la importancia de los precios históricos a más largo plazo. La capacidad efectiva neta total (CEN Total) tiene una correlación positiva significativa

(0.8837), lo que sugiere que una mayor capacidad de generación está asociada con precios más altos de los contratos. Por último, el precio de bolsa a 24 meses, aunque tiene una correlación positiva más moderada (0.4999), todavía muestra una influencia notable en los precios de los contratos. Estos resultados destacan la relevancia de las expectativas de precios y la capacidad de generación como factores críticos en la formación de precios en el mercado de contratos de energía.

#### 4.5.4 Modelo de árboles de regresión

Para desarrollar el modelo de árboles de regresión, primero se cargaron y preprocesaron los datos históricos de precios de contratos y precios de bolsa, tal como se hizo con el modelo de regresión lineal y utilizando los regresores óptimos y los hiper parámetros que definen la profundidad del modelo.

Se desarrolló un pipeline que incluyó la normalización de los datos para garantizar que todas las variables tuvieran la misma escala. Posteriormente, se realizó una selección de características basada en su relevancia para el problema de predicción, utilizando pruebas estadísticas para identificar las más importantes. Finalmente, se aplicó un modelo de regresión basado en árboles para predecir los valores objetivo. Para optimizar el rendimiento del modelo, se realizó una búsqueda exhaustiva de los mejores parámetros, incluyendo la cantidad de características a seleccionar, la profundidad máxima del árbol y los criterios para dividir los nodos.

Se probó el modelo de árboles de regresión utilizando datos de entrenamiento desde el año 2000 hasta el 2022 al igual que en el modelo de regresión lineal. A continuación, se utilizó el modelo entrenado para pronosticar el Precio promedio ponderado contratos para el año 2023. Los resultados del pronóstico se presentaron en la **Tabla 4**, comparando el precio promedio ponderado real de los contratos con el pronóstico del modelo.

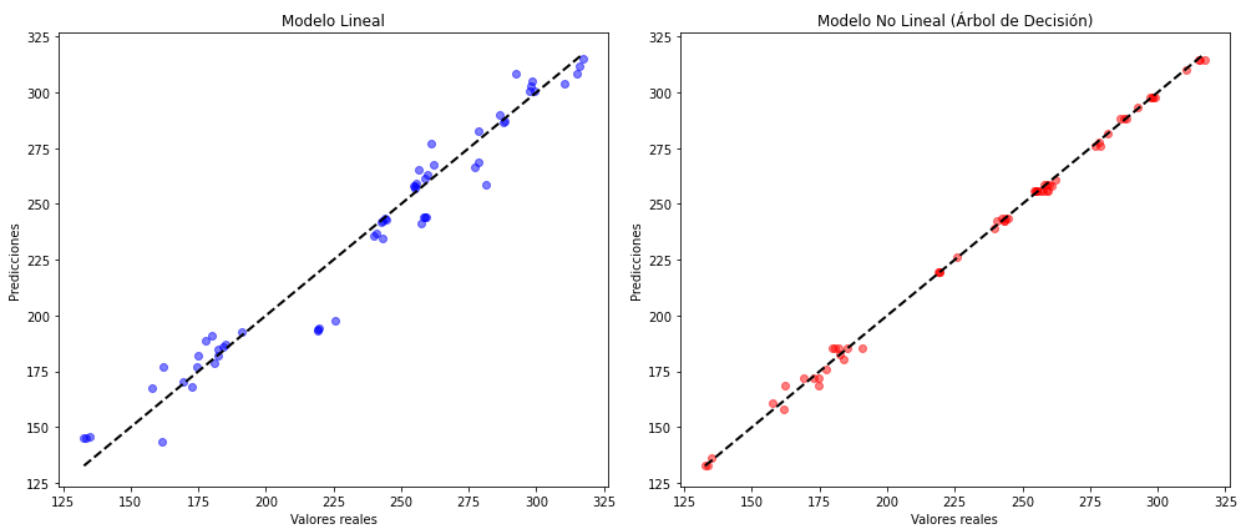
Al entrenar el modelo de árboles de regresión para el periodo completo se calcularon las métricas de rendimiento, incluyendo el error cuadrático medio (MSE) y el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) presentadas en la **Tabla 3**. El modelo de regresión con árboles identificó que la CEN Total, precio contratos de 12 meses antes, precio contratos de 24 meses antes y precio bolsa de 24 meses antes como las variables más relevantes para predecir el precio promedio ponderado contratos. Este modelo ha demostrado un rendimiento muy positivo con un error cuadrático medio (MSE) de 5.29, reflejando un error promedio muy bajo en las predicciones. Además, el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) es de 0.9979, indicando que el modelo explica el 99.8% de la variabilidad en los precios, lo cual confirma una alta precisión en las predicciones realizadas. Es importante destacar que el árbol de regresión resultante es muy grande y denso, por lo que no fue posible graficarlo para tener una referencia visual del modelo.

### 4.5.5 Comparación del modelo de regresión lineal y de árboles de regresión

En las secciones anteriores se presentaron las métricas de ajuste de los modelos estimados, por lo cual, en esta sección se amplía el análisis de los resultados obtenidos.

En la **Fig. 26** se presentan los resultados de los modelos de regresión lineal y de árboles de regresión, el cual es de vital importancia para asegurar la robustez y precisión de las predicciones en el análisis de precios de contratos de energía. La comparación permite evaluar las fortalezas y limitaciones de cada modelo, proporcionando una visión más completa sobre cómo las variables independientes influyen en los precios.

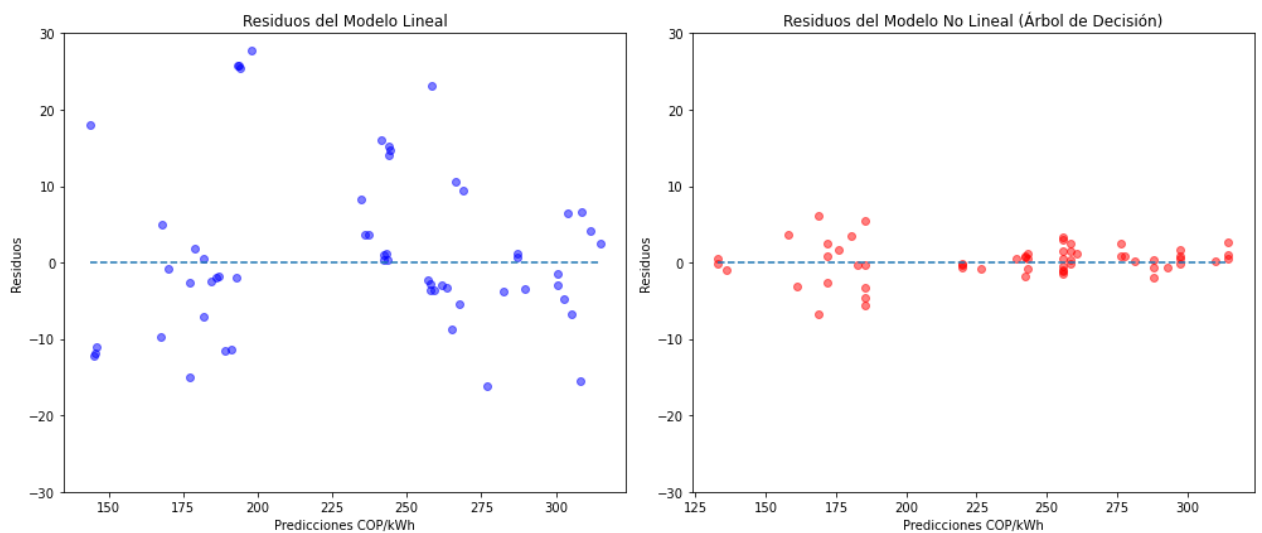
Los resultados de los modelos indican que el modelo no lineal de árboles de regresión supera significativamente al modelo de regresión lineal en términos de precisión predictiva. El modelo lineal presenta un error cuadrático medio (MSE) de 116.79 y un  $R^2$  de 0.956, lo que sugiere que, aunque el modelo lineal explica una gran parte de la variabilidad en los precios de los contratos, aún existen errores de predicción relativamente altos, debido a la posible presencia de no linealidades entre las variables explicativas y los precios. En contraste, el modelo de árboles de regresión muestra un MSE de solo 5.29 y un  $R^2$  de 0.998, indicando un ajuste casi perfecto a los datos. Esta diferencia sustancial en el rendimiento destaca la capacidad del modelo no lineal para capturar relaciones complejas y no lineales entre las variables independientes y la variable dependiente, lo que el modelo lineal no puede lograr. Por lo tanto, el modelo de árboles de regresión es superior para predecir los precios de los contratos de energía, ofreciendo una precisión mucho mayor y proporcionando una herramienta más robusta y fiable para el análisis y la toma de respuesta a las preguntas de investigación planteadas en este capítulo.



**Fig. 25.** Resultados de modelo de regresión lineal y no lineal

En la **Fig. 27** se presentan los gráficos de residuos que proporcionan una visión crítica sobre la calidad del ajuste de los modelos y la validez de sus predicciones. En el caso del

modelo lineal, los residuos muestran una dispersión considerable alrededor de cero, lo que indica la presencia de errores de predicción que no se distribuyen uniformemente. Esto indica que el modelo lineal no captura completamente la variabilidad de los datos, reflejado en mayor parte por el error cuadrático medio (MSE) de 116.79. Por otro lado, los residuos del modelo de árboles de regresión están mucho más concentrados alrededor de cero, con una dispersión significativamente menor, lo que refleja un mejor ajuste del modelo a los datos. Este comportamiento es coherente con el MSE mucho más bajo de 5.29 obtenido por el modelo no lineal. La comparación de los residuos refuerza la conclusión de que el modelo de árboles de regresión es superior en términos de precisión y capacidad para capturar las complejidades de las relaciones entre las variables, proporcionando predicciones más fiables y exactas.



**Fig. 26.** Residuos del modelo de regresión lineal y no lineal

#### 4.5.6 P1) ¿Cómo afectan la volatilidad y expectativa del precio de bolsa a los precios de contratos en un periodo determinado?

Para responder a la **P1**, de acuerdo con los resultados del modelo no lineal de árboles de regresión y las variables seleccionadas, se puede concluir que el precio de bolsa a 24 meses de anterioridad tiene un impacto significativo en los precios de los contratos en un periodo determinado. En el análisis se incluyeron variables de precio de bolsa con varios meses de anterioridad, las cuales se encontraron entre los regresores, pero finalmente la variable seleccionada como una de las variables independientes clave fue el precio de bolsa a 24 meses de anterioridad. Aunque la volatilidad del precio de bolsa no fue seleccionada como una de las variables más influyentes en el modelo final, la expectativa del precio de bolsa a largo plazo (24 meses) muestra una relación positiva moderada con

los precios de los contratos, con una correlación de 0.4999. Esto indica que las expectativas del precio de bolsa son un factor relevante para predecir los precios de los contratos, sugiriendo que los agentes del mercado pueden considerar las tendencias y proyecciones de precios de bolsa a largo plazo al establecer los precios de sus contratos.

#### **4.5.7 P2) ¿Cuál es el impacto de fenómenos climáticos como El Niño o La Niña en los precios?**

Para analizar el impacto de los fenómenos de El Niño y la Niña, se incluyó el índice ONI (Oscilación del Sur de El Niño) dentro de las variables independientes posibles para los modelos utilizados. Sin embargo, los resultados del modelo no lineal de árboles de regresión muestran que esta variable no fue seleccionada en ninguno de los dos modelos, lo que muestra que estos fenómenos climáticos extremos no tienen un impacto en la determinación de los precios de los contratos de más de 12 meses. Esto se puede explicar por la impredecibilidad de El Niño para periodos superiores a 8 meses. De esta forma los agentes cuando firman un contrato de un periodo mayor a 12 meses no tienen información concreta sobre eventos del niño que se puedan presentar. Por otro lado, aunque el Índice ONI no fue una de las variables finales seleccionadas como las más influyentes en el modelo, su consideración inicial indica que se reconoció su potencial de posible impacto en el precio de contratos.

Respecto al hecho de que otras variables, como el precio de contratos a 12 y 24 meses atrás y la capacidad efectiva neta total, hayan sido seleccionadas como más influyentes, sugiere que los precios históricos y la capacidad de generación tienen un papel más directo y fuerte en la determinación de los precios de los contratos. Esto podría implicar que, aunque los fenómenos climáticos como El Niño o La Niña afectan las condiciones del mercado, sus efectos podrían estar más indirectamente reflejados a través de cambios en las expectativas de precios y capacidad de generación a largo plazo.

Para dar respuesta a la **P2**, no se encontró un impacto de los fenómenos climáticos como El Niño y la Niña en el precio de los contratos, dato que no fue tan significativo como otras variables, ya que el Índice ONI no fue seleccionado como una de las variables más influyentes.

#### **4.5.8 P3) ¿Influye la entrada de proyectos de generación renovable en los precios de los contratos?**

De acuerdo con los resultados del modelo no lineal de árboles de regresión y a las variables seleccionadas, se puede concluir que la entrada de proyectos de generación renovable no tiene un impacto significativo directo en los precios de los contratos de energía, debido a que la variable no fue seleccionada como una de las más influyentes en el modelo final. En contraste, la capacidad efectiva neta total sí fue seleccionada como una variable influyente, lo que sugiere que la capacidad de generación en general tiene un mayor impacto en la determinación de los precios de los contratos que la capacidad específica

de generación renovable. Esto implica que, aunque los proyectos de generación renovable son importantes para la matriz energética, su influencia directa en los precios de los contratos es menor en comparación con otros factores como las expectativas de precios a largo plazo y la capacidad total de generación de energía.

En la **Tabla 5** se presenta la variación anual de la Capacidad Efectiva Neta por tipo de generación, donde se evidencia que la incorporación de energía solar y eólica que corresponde a fuentes de energía renovable aún no es significativa, por lo cual, de acuerdo con los resultados del modelo de árboles de regresión, no presenta una influencia sobre el precio de los contratos. Por el contrario, la generación hidráulica y térmica si ha presentado variaciones a lo largo de los años, por lo que, de acuerdo con el modelo si presenta una influencia sobre el precio de los contratos.

**Tabla 5.** Variación anual (GWh) de la Capacidad Efectiva Neta por tipo de generación

AÑO	EÓLICA	SOLAR	HIDRÁULICA	TÉRMICA
2000	0.00	0.00	0.00	0.00
2001	0.00	0.00	0.42	0.01
2002	0.00	0.00	0.36	-0.10
2003	0.00	0.00	-0.18	-0.02
2004	0.02	0.00	0.06	0.11
2005	-0.01	0.00	0.02	-0.08
2006	0.01	0.00	0.00	-0.09
2007	0.00	0.00	0.04	0.09
2008	0.00	0.00	0.01	0.06
2009	0.00	0.00	0.00	0.02
2010	0.00	0.00	0.05	-0.27
2011	0.00	0.00	0.67	0.45
2012	0.00	0.00	0.06	-0.13
2013	0.00	0.00	0.10	0.09
2014	0.00	0.00	1.02	-0.11
2015	0.00	0.00	0.60	0.33
2016	0.00	0.00	0.11	0.05
2017	0.00	0.01	0.11	0.04
2018	0.00	0.00	0.11	0.42
2019	0.00	0.01	0.08	0.04
2020	0.00	0.04	0.03	-0.05
2021	0.00	0.08	0.00	0.16
2022	0.00	0.15	0.60	0.27
2023	0.00	0.22	0.66	0.28
2024	0.00	0.29	0.00	0.06

Para dar respuesta a la **P3**, se concluye que la entrada de proyectos de generación renovable no influye significativamente en los precios de los contratos de energía, ya que la capacidad efectiva neta de fuentes no convencionales no fue una de las variables más influyentes seleccionadas en el modelo.

## 4.6 Conclusiones

En esta sección se presentan las conclusiones derivadas del análisis realizado para las preguntas de investigación planteadas, las cuales tienen como finalidad explicar el objetivo específico definido como “Analizar las relaciones entre el precio de contratos y diferentes variables del mercado que pueden inferir en la formación de los precios.”:

- El precio de bolsa con 24 meses de anticipación tiene un impacto significativo en los precios de los contratos, indicando que los precios anteriores de la bolsa son un factor clave en la determinación de los precios de los contratos de energía. La volatilidad del precio de bolsa, aunque considerada, no mostró una influencia directa tan significativa en el modelo final de árboles de regresión.
- Los fenómenos climáticos como El Niño o La Niña, representados por el Índice ONI (Oscilación del Sur de El Niño), no fueron seleccionados como una de las variables más influyentes en el modelo. Esto sugiere que su impacto directo en los precios de los contratos es menor comparado con otros factores.
- La entrada de proyectos de generación renovable no tiene una influencia significativa en los precios de los contratos, ya que la capacidad efectiva neta de fuentes no convencionales de energías renovables no fue seleccionada como una variable influyente en el modelo final de árboles de regresión. La capacidad total de generación de energía mostró tener un mayor impacto en la determinación de los precios de los contratos.

## **5. Comparación de los agentes del mercado, de acuerdo con los precios y porcentaje de contratación.**

En este capítulo se desarrolla el objetivo específico “Comparar los agentes del mercado, de acuerdo con los precios y porcentaje de contratación.”. Para ello, se responderán las siguientes preguntas de investigación, las cuales fueron previamente discutidas en el Capítulo 1:

- ¿Cómo es la distribución de precios de contratos según la capacidad de generación de las empresas?
- ¿Cómo es la distribución de los precios de los contratos según el porcentaje de exposición en bolsa del agente comprador?

El resto de este Capítulo está organizado como sigue: en la Sección 5.1 se presenta la introducción; la Sección 5.2 describe la metodología empleada; la Sección 5.3 detalla la información utilizada; la Sección 5.4 expone la preparación de datos; la Sección 5.5 expone los resultados y la discusión correspondiente; finalmente, la Sección 5.6 presentan las conclusiones.

### **5.1 Introducción**

En el contexto del Mercado de Energía Mayorista (MEM) en Colombia, la formación de precios de los contratos bilaterales entre agentes vendedores y compradores, principalmente generadores y comercializadores, es un aspecto crucial que influye tanto en los participantes del mercado como en los consumidores finales. La estabilidad y equidad en los precios son fundamentales para asegurar un suministro de energía confiable y asequible, impactando directamente el bienestar económico y social del país. Los contratos bilaterales de largo plazo, que establecen precios fijos y cantidades de energía a suministrar, desempeñan un papel esencial al ofrecer una cobertura estable contra la volatilidad de los precios en el mercado spot. Sin embargo, estos contratos no siempre cubren la totalidad de la demanda, lo que obliga a los compradores a recurrir al mercado spot, donde los precios son más impredecibles.

En los contratos bilaterales a largo plazo, las partes acuerdan la compra y venta futura de electricidad a precios y cantidades generalmente fijas. Por otro lado, en el mercado spot, las transacciones se realizan a precios volátiles influenciados por diversos factores que pueden aumentar o disminuir el precio. Cuando un agente tiene excedentes de energía después de cumplir con sus obligaciones contractuales y su demanda de electricidad, vende este exceso en el mercado spot. Por el contrario, cuando un agente tiene déficit de

energía para cumplir con su demanda tras utilizar la electricidad de sus contratos, debe comprar la energía faltante en el mercado spot.

Este capítulo se enfoca en comparar a los agentes del mercado en función de su portafolio de generación y el porcentaje de exposición en bolsa. Para ello, se abordan dos preguntas de negocio clave: en primer lugar, cómo es la distribución de precios de los contratos según la capacidad de generación de las empresas; y, en segundo lugar, cómo es la distribución de los precios de los contratos según el porcentaje de exposición en bolsa del agente comprador.

El objetivo principal es analizar y comparar a los agentes del mercado basándose en estos criterios. Este análisis es crucial para entender la posible dependencia de los precios de los contratos respecto a la matriz de generación del vendedor o la exposición del comprador en el mercado spot.

## **5.2 Metodología**

En este capítulo, se aborda el análisis de dos preguntas de negocios enfocadas en la comparación de los agentes del mercado, de acuerdo con los precios y porcentaje de contratación. Para ello, se hace necesario definir la metodología para dar respuesta a cada pregunta negocio.

### **5.2.1 Metodología para la Pregunta 1**

Para responder a la pregunta ¿Cómo es la distribución de precios de contratos según la capacidad de generación de las empresas? se analiza los precios de contratos entre los agentes que tengan una alta y una baja participación en la capacidad efectiva neta del SIN. Para analizar este comportamiento se realiza un análisis de dispersión de los precios de contratos de los agentes y un análisis de comportamiento de medias.

### **5.2.2 Metodología para la Pregunta 2**

Para responder a la pregunta ¿Cómo es la distribución de los precios de los contratos según el porcentaje de exposición en bolsa del agente comprador? se analiza los precios de contratos que se realizan entre agentes que tienen una alta exposición en bolsa y los que tienen una baja exposición en bolsa. Para ello, se realiza un análisis de dispersión de los precios de los agentes con alta exposición y con baja exposición.

## **5.3 Información utilizada**

Para el análisis propuesto en este capítulo, se utilizan los datos publicados por el administrador del Mercado de Energía Mayorista, accesibles a través de los portales

Sinergox<sup>12</sup> y SIMEM<sup>13</sup>. Estos datos incluyen los precios promedio ponderados de contratos, la energía despachada mensualmente, capacidad efectiva neta de los agentes generadores y el porcentaje de exposición en bolsa de los agentes comercializadores, desde enero de 2015 hasta diciembre de 2023. Respecto al porcentaje de exposición en bolsa, este corresponde a la proporción de energía de sus obligaciones que no está cubierta con la energía que compra en contratos.

La información utilizada, equivale a un total de nueve años para el análisis y se encuentra desagregada por el agente comprador, vendedor y el año de despacho.

## 5.4 Preparación de datos

Para realizar los análisis planteados, los precios de contratos fueron transformados a valores constantes de diciembre de 2023, con el fin de eliminar la influencia de la inflación en la serie de precios. Para ello, se empleó el Índice de Precios del Productor (IPP) de Oferta Interna publicado por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE)<sup>14</sup>. Además, se hace necesario el cálculo de una nueva variable llamada participación por categoría, a partir de la columna exposición en bolsa por agente (%). Esta variable clasifica la exposición de los agentes en la bolsa en dos categorías: Alta exposición y Baja exposición, donde a Alta exposición son asignados los agentes con exposición en bolsa superior al 20% y en baja exposición agentes con exposición menor o igual al 25%. Esta nueva variable facilita el análisis al permitir distinguir de manera clara entre agentes con diferentes niveles de participación en la bolsa.

## 5.5 Resultados y Discusión

### 5.5.1 P1) ¿Cómo es la distribución de precios de contratos según la capacidad de generación de las empresas?

Para responder esta pregunta se analizaron las distribuciones de precios de contratos para los agentes que presentan una alta y baja participación en la capacidad efectiva neta del sistema. Para el caso de agentes con alta participación, se consideran aquellos que tienen una capacidad efectiva neta superior al 8% de la capacidad efectiva neta del sistema y para los agentes con baja participación se consideran los que tienen una capacidad efectiva neta menor o igual al 8%. El grupo de alta participación se encuentran conformado por 4 agentes que representan el 65% de la capacidad efectiva neta del SIN y el 69% de las ventas totales en contratos para el mercado regulado.

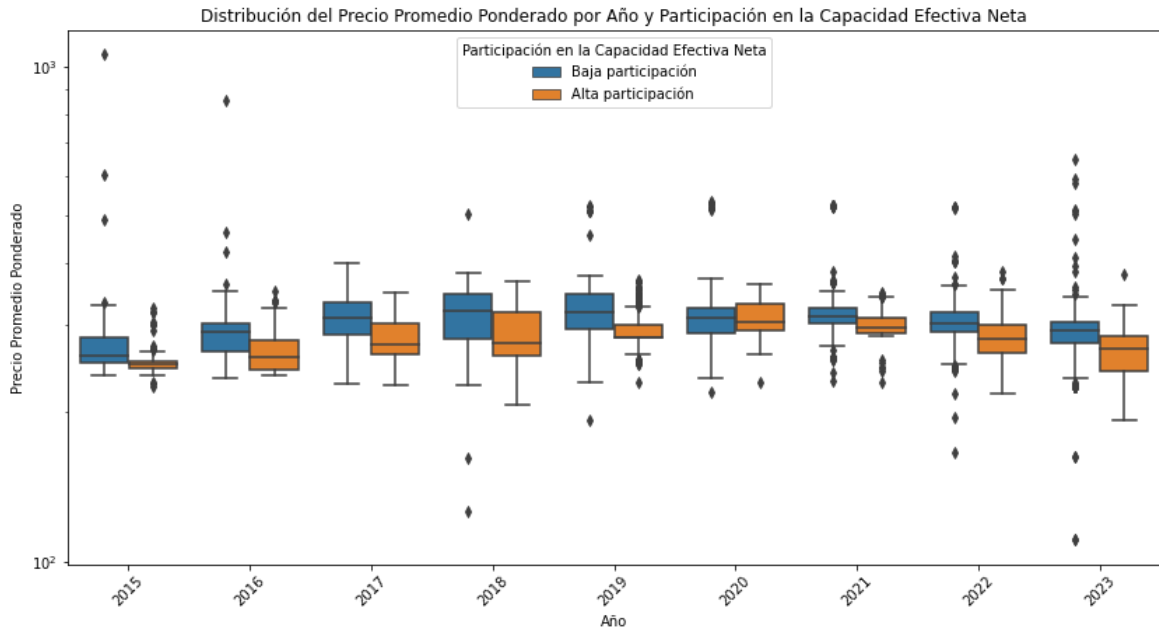
---

<sup>12</sup> Portal de datos Sinergox (<https://sinergox.xm.com.co/Paginas/Home.aspx>)

<sup>13</sup> Portal de datos abiertos SIMEM (<https://www.simem.co>)

<sup>14</sup> Publicación del IPP, página web DANE (<https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/precios-y-costos/indice-de-precios-del-productor-ipp>)

En la **Fig. 27** se presenta la distribución del precio promedio ponderado de los contratos de energía para el mercado regulado en el MEM, diferenciada por año de despacho de los contratos y por nivel de participación en la capacidad efectiva neta del SIN. Cada boxplot representa la distribución de precios para cada año de despacho en una escala logarítmica que permite observar mejor la diferencias en la distribución de los precios que abarcan varios ordenes de magnitud, discriminado por participación alta o baja en la capacidad efectiva neta del SIN. Los datos graficados como puntos atípicos corresponden a la información específica del precio de una empresa para un año determinado.



**Fig. 27.** Distribución del Precio Promedio Ponderado por Año y Participación en la Capacidad Efectiva Neta

El análisis de los datos en la **Fig. 18** muestra que hay una variabilidad considerable en los precios promedio ponderados a lo largo de los años. En general, se observa que los agentes con baja participación tienden a tener una mayor dispersión en sus precios, indicando una mayor volatilidad en comparación con los agentes con alta participación. Además, la mediana de la categoría de baja participación es superior en todos los años, lo que indica que los agentes con baja participación tienden a tener precios de contratos de venta superiores a los agentes con alta participación. Este comportamiento indica que los agentes que tienen una alta participación y, por lo tanto, una mayor cantidad de energía disponible para vender en contratos, tienden a venderla a precios inferiores que los agentes con baja participación. Esto sugiere que no se ejerce un poder de mercado donde, por la capacidad de venta, se venda a precios superiores.

Al analizar algunas estadísticas descriptivas, se revela que los precios promedio ponderados para los agentes con alta participación varían desde 254.88 en 2015 hasta

283.01 en 2023, mientras que para los agentes con baja participación varían desde 285.82 en 2015 hasta 279.48 en 2023. A pesar de que las medias no difieren significativamente, la mayor desviación estándar se presenta en los agentes con baja participación (107.28 en 2015 y 52.65 en 2023) en comparación con los agentes de alta participación (19.52 en 2015 y 24.68 en 2023), destacando su variabilidad. Los valores atípicos, presentes en varios años, especialmente en 2015, 2016, 2018, 2019, 2021, 2022 y 2023, tienen un impacto considerable en los resultados, dado que pueden influir en el cálculo de medias y medianas por año.

En la **Tabla 5** se encuentra los resultados del análisis de comportamiento, el cual se realiza mediante una técnica estadística (t de Student) para comparar las medias de diferentes grupos y determinar si existen diferencias significativas entre ellas. Para este análisis, se comparan las medias de los precios promedio ponderados de contratos, entre los agentes con alta y baja participación para los años desde 2015 al 2023. Esto permite entender cómo varían los precios entre diferentes categorías y a lo largo del tiempo.

**Tabla 6.** Prueba Estadística Comportamiento de Medias alta y baja participación en la Capacidad Efectiva Neta (COP/kWh)

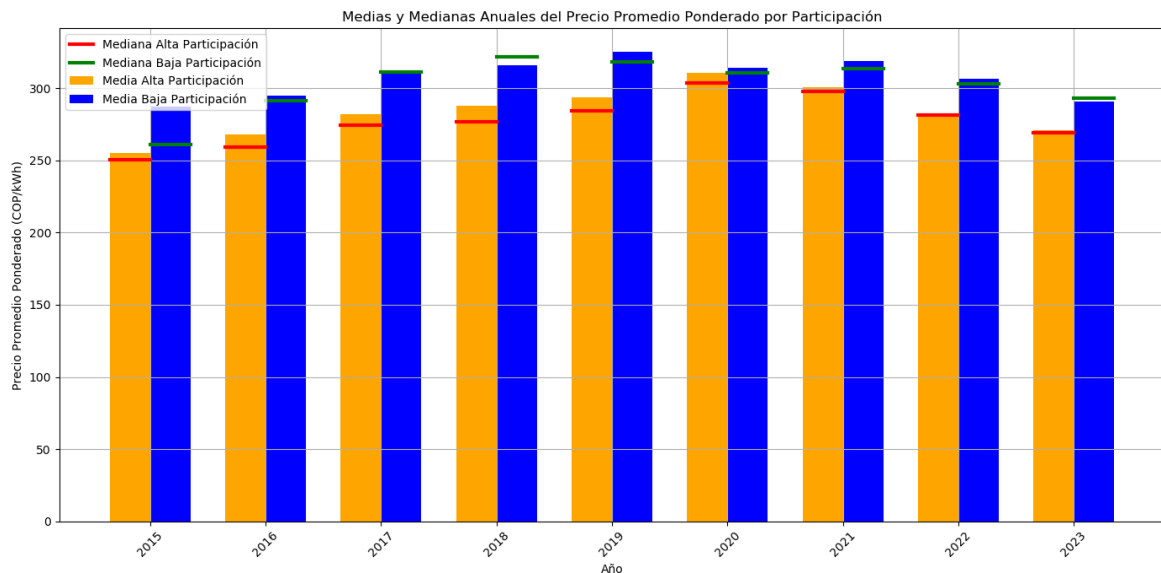
<b>Año</b>	<b>Estadístico t</b>	<b>Valor p</b>	<b>Media alta Participación</b>	<b>Media baja Participación</b>	<b>Diferencia de Medias</b>
2015	- 2.38	0.020116	254.88	285.82	- 30.93
2016	- 3.93	0.000133	267.67	294.59	- 26.92
2017	- 7.46	0.000000	282.08	312.19	- 30.11
2018	- 5.33	0.000000	287.71	315.73	- 28.02
2019	- 6.33	0.000000	293.92	325.09	- 31.17
2020	- 1.18	0.239818	310.71	314.31	- 3.61
2021	- 6.66	0.000000	300.63	318.81	- 18.18
2022	- 2.24	0.025456	288.69	293.78	- 5.09
2023	1.09	0.277565	283.01	279.48	3.54

El análisis estadístico presentado en la **Tabla 6** realizado mediante pruebas t independientes para cada año revela diferencias significativas en los precios promedio ponderados entre los agentes con alta y baja participación en varios años específicos. En los años 2016 al 2019 y el 2021, los valores p son menores a 0.05, indicando diferencias estadísticamente significativas en esos años. En estos casos, los agentes con baja participación tienen precios promedio ponderados significativamente más altos que los agentes con alta participación. Sin embargo, en otros años, como 2015, 2020, 2022 y 2023, no se encuentran diferencias significativas, ya que los valores p son mayores a 0.05. Las

medias de precios para los agentes con baja participación son consistentemente más altas que las de los agentes con alta participación en todos los años analizados.

Los resultados indican que, aunque hay años específicos en los que los precios promedio ponderados difieren significativamente entre agentes con alta y baja participación, en general, los agentes con baja participación tienden a tener precios de contratos de venta superiores. Este patrón sugiere que los agentes con alta participación, quienes tienen una mayor cantidad de energía disponible para vender, tienden a ofrecer precios más bajos para asegurar ventas más grandes. Esto refuerza la idea de que no se ejerce un poder de mercado significativo por parte de los agentes con alta participación para influir en los precios hacia niveles superiores, manteniendo así un mercado competitivo donde los precios reflejan más las dinámicas de oferta y demanda que el poder de mercado individual de los agentes.

En la **Fig. 28** se presentan las medias y medianas anuales del Precio Promedio Ponderado (COP/kWh) por participación en la capacidad efectiva neta del SIN de los agentes. Las barras representan las medias anuales, diferenciadas por colores según el nivel de participación (alta y baja), mientras que las líneas punteadas y con marcadores ilustran las medianas anuales correspondientes.



**Fig. 28.** Medias y Medianas Anuales del Precio Promedio Ponderado por Participación

Se observa que para los agentes con alta participación, la media del precio promedio ponderado aumentó de 254.88 en 2015 a un máximo de 310.71 en 2020, para luego disminuir a 270.98 en 2023. Las medianas siguen una tendencia similar, con un aumento de 250.26 en 2015 a un máximo de 303.83 en 2020, antes de caer a 269.02 en 2023. En

comparación, los agentes con baja participación exhiben consistentemente precios más altos que los agentes con alta participación. La media para los agentes con baja participación aumentó de 287.20 en 2015 a un máximo de 325.09 en 2019, antes de descender a 290.77 en 2023. Las medianas para estos agentes también muestran un patrón ascendente, alcanzando un máximo de 321.40 en 2018 antes de bajar ligeramente a 292.82 en 2023. Estos resultados indican que los agentes con baja participación tienden a tener precios de contratos de venta superiores a los agentes con alta participación, probablemente debido a una menor disponibilidad de energía para vender. La disminución en los últimos años puede reflejar resultados en la contratación que se realizó mediante el Sistema Centralizado de Información de Convocatorias Públicas (SICEP) que llevó a un cambio en la dinámica de contratación, aumentando la competencia entre los agentes.

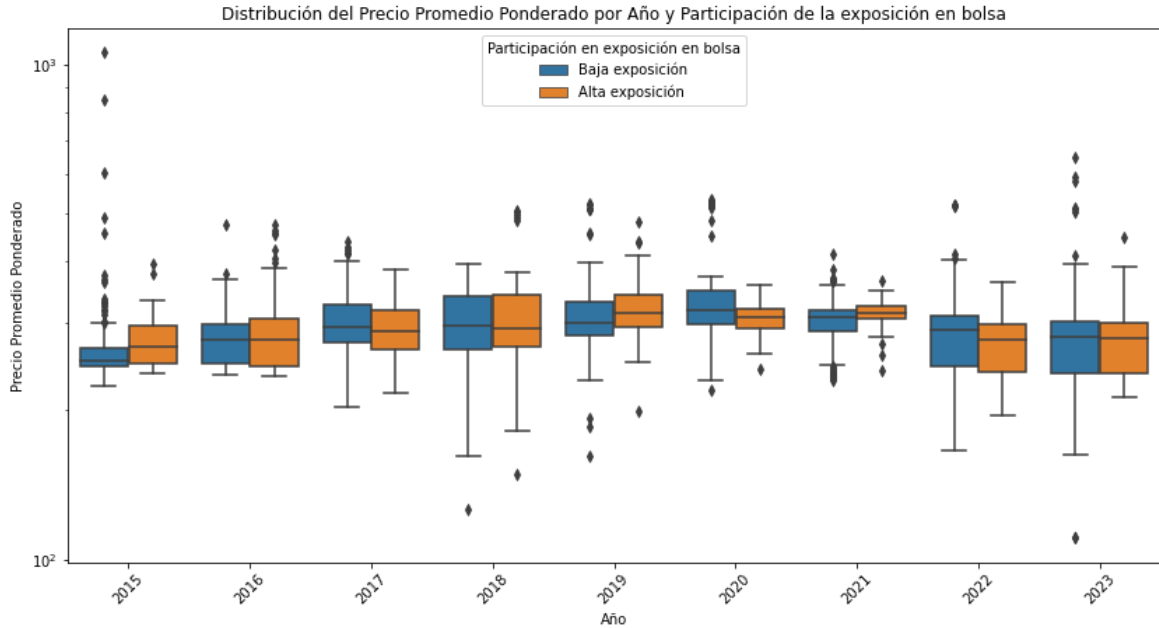
Para dar respuesta a la **P1**, la distribución de precios de los contratos varía significativamente según la capacidad de generación de las empresas. Los agentes con baja participación, que tienen una menor capacidad de generación, tienden a obtener precios de contratos de venta más altos en comparación con los agentes con alta participación. Esto se observa en las medias y medianas anuales del precio promedio ponderado, donde los valores son consistentemente más altos para los agentes con baja participación a lo largo de los años analizados. Por ejemplo, en 2023, la media del precio promedio ponderado para los agentes con baja participación fue de 290.77 COP/kWh, mientras que para los agentes con alta participación fue de 270.98 COP/kWh. Las medianas muestran una tendencia similar. Esta distribución indica que las empresas con menor capacidad de generación posiblemente tengan mayor poder de negociación en sus contratos, permitiéndoles asegurar precios más altos, mientras que las empresas con mayor capacidad de generación tienden a ofrecer precios más competitivos para asegurar la venta de su mayor volumen de energía.

### **5.5.2 P2) ¿Cómo es la distribución de los precios de los contratos según el porcentaje de exposición en bolsa del agente comprador?**

Para responder esta pregunta se analizarán las distribuciones de precios de contratos para los agentes que presentan una alta y baja exposición de compras en la bolsa. Para el caso de agentes con alta exposición, se consideran aquellos que tienen una exposición superior al 20% y los agentes con baja exposición los que tienen una exposición menor o igual al 20%. Debido a que en el grupo de alta exposición está formado en promedio por 11 agentes que representan el 25% de la demanda comprada en contratos en el mercado regulado, se concluye que el mercado eléctrico colombiano no presenta una alta exposición para una gran cantidad de agentes.

En la **Fig. 29** se presenta la distribución del precio promedio ponderado de los contratos de energía para el mercado regulado en el MEM, diferenciada por año de despacho de los contratos y para aquellos con alta y baja exposición en la bolsa. Cada boxplot representa la distribución de precios para cada año de despacho en una escala logarítmica que

permite observar mejor la diferencias en la distribución de los precios que abarcan varios ordenes de magnitud, discriminado por participación alta o baja en la exposición de bolsa. Los datos graficados como puntos atípicos corresponden a la información específica del precio de una empresa para un año determinado.



**Fig. 29.** Distribución del Precio Promedio Ponderado por Año y Participación de la exposición en bolsa

En la **Fig. 29** se observa que no hay una diferencia significativa en los precios promedio ponderados entre los agentes con alta exposición (más del 20%) y aquellos con baja exposición. Ambas categorías presentan rangos de precios similares y no se observa una tendencia consistente en la que los precios sean sistemáticamente más altos o más bajos para una de las categorías. Esta falta de diferenciación indica que la exposición en bolsa, no es el único determinante en la formación de precios en el mercado eléctrico colombiano.

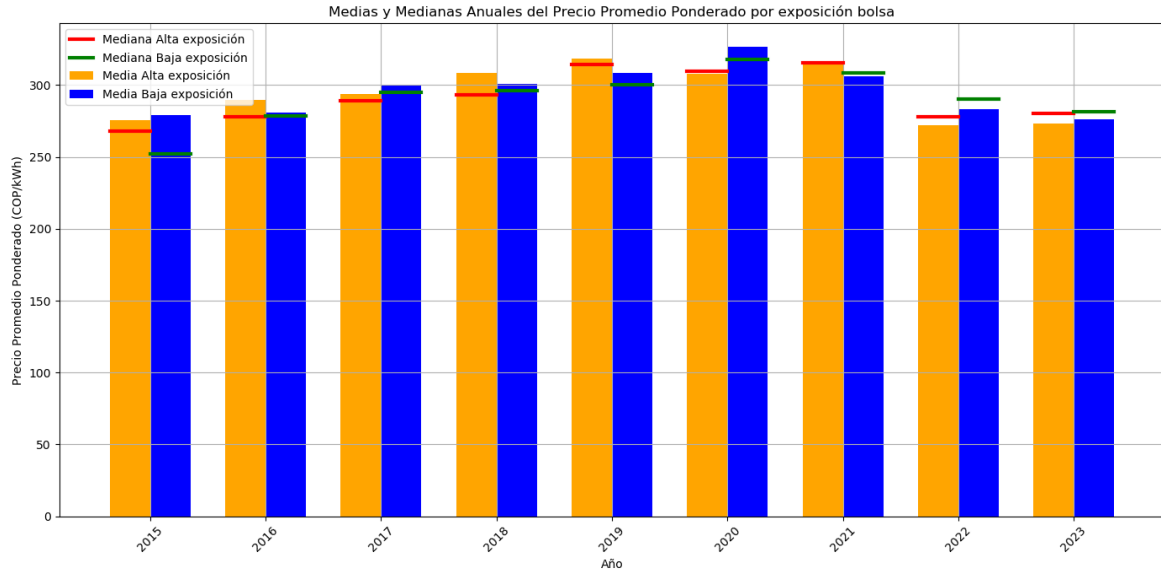
**En la Tabla 7** se presentan los resultados de la prueba *t* de Student que se aplicó para comparar los precios promedio ponderados de la energía entre dos grupos de agentes del mercado eléctrico colombiano. Esta prueba se realizó para cada año del periodo estudiado, con el objetivo de identificar si la participación en la exposición en bolsa tiene un impacto significativo en la formación de precios en el mercado.

**Tabla 7.** Prueba Estadística Comportamiento de Medias alta y baja participación en la Exposición de Bolsa (COP/kWh)

<b>Año</b>	<b>Estadístico t</b>	<b>Valor p</b>	<b>Media alta Exposición</b>	<b>Media baja Exposición</b>	<b>Diferencia de Medias</b>
2015	- 0.30	0.762828	275.84	278.90	- 3.06
2016	1.35	0.178451	289.43	281.06	8.38
2017	- 1.20	0.234436	293.59	300.36	- 6.77
2018	1.00	0.320462	308.49	301.02	7.47
2019	2.46	0.014368	318.48	308.33	10.15
2020	- 5.12	0.000001	307.61	326.50	-18.90
2021	4.14	0.000057	314.93	306.30	8.64
2022	- 4.60	0.000005	271.82	283.41	- 11.59
2023	- 1.16	0.247595	272.98	276.18	- 3.20

Los resultados de la prueba t de Student mostraron diferencias significativas en los precios promedio ponderados de la energía entre los agentes con alta y baja exposición en bolsa en varios años. En particular, los años 2020, 2021 y 2022 presentaron diferencias estadísticamente significativas, como lo indican los valores p inferiores a 0.05. En 2021, los agentes con alta exposición tuvieron precios significativamente más altos que aquellos con baja exposición. En 2020 y 2022, se observó lo contrario: los precios fueron significativamente más bajos para los agentes con alta exposición. Estos resultados indican que la exposición en bolsa influye en los precios de manera variable a lo largo del tiempo, reflejando la complejidad y las fluctuaciones del mercado eléctrico colombiano en lo referente a la contratación para agentes con alta o baja exposición. De acuerdo con esto, los resultados indican que no hay una diferencia estadísticamente significativa constante en todos los años.

En la **Fig. 30** se presenta un análisis comparativo de las medias y medianas anuales del precio promedio ponderado de la energía eléctrica para agentes con alta y baja exposición en bolsa. Este análisis abarca varios años y permite visualizar cómo varían los precios según el nivel de exposición en el mercado eléctrico colombiano.



**Fig. 30.** Medias y Medianas Anuales del Precio Promedio Ponderado por exposición bolsa

Los resultados obtenidos en la **Fig. 30** para la media y la mediana del precio promedio ponderado para agentes con alta y baja exposición en bolsa durante el periodo de 2015 a 2023 muestran una notable variabilidad. En 2015, los agentes con baja exposición tuvieron una media ligeramente superior (278.90 COP/kWh) comparado con los de alta exposición (275.84 COP/kWh), aunque la mediana fue mayor para los agentes con alta exposición. En 2016, los precios medios para alta exposición fueron superiores, mientras que, en 2017 los agentes con baja exposición mostraron precios medios y medianas más altos. Durante 2018 y 2019, los agentes con alta exposición mantuvieron precios superiores en comparación con los de baja exposición, tanto en medias como en medianas.

En 2020, se observó un cambio significativo con los agentes de baja exposición presentando medias y medianas superiores. En 2021, los precios fueron ligeramente superiores para los agentes con alta exposición. En 2022, los agentes de baja exposición mostraron precios medios y medianas más altos. Finalmente, en 2023, las diferencias entre ambos grupos fueron mínimas. Estos resultados indican que la influencia de la exposición en bolsa sobre los precios de la energía varía considerablemente de un año a otro, reflejando la complejidad y las dinámicas cambiantes del mercado eléctrico colombiano.

Para dar respuesta a la **P2**, la distribución de los precios de los contratos según el porcentaje de exposición en bolsa del agente comprador varía significativamente a lo largo del periodo analizado. En algunos años, los agentes con alta exposición en bolsa presentaron precios promedio ponderados más altos en comparación con los agentes con baja exposición, como se observó en 2016, 2018 y 2019. Sin embargo, en otros años, como 2017 y 2020, los agentes con baja exposición tuvieron precios superiores. Esta

variabilidad indica que no hay una tendencia constante y que otros factores además de la exposición en bolsa influyen en la formación de los precios de los contratos.

## 5.6 Conclusiones

En esta sección se presentan las conclusiones derivadas del análisis realizado para las preguntas de investigación planteadas, las cuales tienen como finalidad explicar el objetivo específico definido como: “Comparación de los agentes del mercado, de acuerdo con los precios y porcentaje de contratación.”:

- La distribución de precios de los contratos varía según la capacidad de generación de las empresas, con agentes de baja participación ofreciendo precios más altos en comparación con los de alta participación. Esto se refleja en las medias y medianas anuales del precio promedio ponderado, donde los valores son consistentemente mayores para los agentes con baja participación. En 2023, por ejemplo, la media del precio promedio ponderado para agentes con baja participación fue de 290.77 COP/kWh, frente a 270.98 COP/kWh para los de alta participación. Esta tendencia sugiere que las empresas con mayor capacidad ofrecen precios más competitivos para vender su mayor volumen de energía.
- La distribución de los precios de los contratos según la exposición en bolsa del agente comprador varía significativamente a lo largo del periodo analizado. En algunos años, los agentes con alta exposición presentan precios más altos, mientras que, en otros como 2017 y 2020, los agentes con baja exposición tienen precios superiores. Esto sugiere que no hay una tendencia constante y que otros factores además de la exposición en bolsa influyen en los precios de los contratos.

## 6. Conclusiones y recomendaciones

En este capítulo se presentan las conclusiones y recomendaciones, destacando el logro de los objetivos planteados. Además, se sugieren recomendaciones para investigaciones futuras basadas en los resultados obtenidos en esta tesis.

### 6.1 Cumplimiento de Objetivos

#### 6.1.1 Objetivo Específico 1

El primer objetivo específico de esta tesis fue: “Analizar el comportamiento de los precios contratados por las empresas con situación de control”. Para desarrollar este objetivo se plantearon una serie de preguntas de negocio, las cuales se responden a continuación:

- ¿Cómo han evolucionado los precios de contratos entre empresas con y sin situación de control?

Se encontró que hasta el año 2020, los precios promedio de contratos de los agentes sin situación de control, tenían un valor mayor a los precios de agentes con situación de control, lo cual cambia a partir del año 2021, donde los precios promedio de los contratos con situación de control son superiores. Este cambio en la tendencia del nivel de los precios puede estar relacionado con la entrada en operación del Sistema de Información de Convocatorias Públicas-SICEP (Resolución CREG 130 de 2019), el cual inició operación a partir del año 2020 con la celebración de convocatorias públicas para la contratación en el mercado Regulado. Además, en 2019 y 2020 se presentaron condiciones climáticas particulares que llevaron a la disminución del volumen de los embalses, sin embargo, para estos años no fue declarado un evento de El Niño. Adicionalmente en el año 2020, se presentó la pandemia de COVID-19 así como incrementos en el IPP con el que se indexan los contratos de largo plazo, causando también aumentos en el precio de estos. Por otro lado, en el año 2022, mediante la resolución CREG 029 de 2022 se renegociaron los precios e indexadores de los contratos de largo plazo, lo cual llevó a una disminución considerable en el precio de los mismos.

- ¿Cuál es el impacto de la anticipación en la negociación de los precios de los contratos por año?

Se encontró una distribución variada de los precios a lo largo del tiempo que indican que los precios presentan una amplia dispersión, con fluctuaciones significativas y la presencia de varios valores atípicos que destacan eventos extraordinarios en el mercado eléctrico. Estos resultados sugieren que los precios de los contratos están influenciados por una combinación de factores del mercado, variaciones en la oferta y demanda, y posibles situaciones climáticas que afecten los precios de contratos. En general, la distribución de los precios reflejó una dinámica de mercado compleja

y volátil, subrayando la necesidad de estrategias de compra y gestión de costos robustas y adaptativas para manejar eficazmente estas variaciones.

- ¿Cómo se distribuyen los precios de los contratos según la situación de control?  
Se observó que los precios de contratos sin situación de control presentan una mayor dispersión y variabilidad, con tendencias a agruparse en rangos medios, pero con capacidad para alcanzar precios considerablemente altos, reflejando un mercado donde predominan la oferta y demanda. Por otro lado, los contratos con situación de control muestran una distribución más uniforme y concentrada, con precios más estabilizados y menos propensos a alcanzar valores extremos.

Para responder estas preguntas de investigación, se emplearon tres metodologías específicas. En primer lugar, se comparó la diferencia de precios entre agentes con alta y baja participación en la demanda total regulada mediante un análisis de dispersión y de medias. En segundo lugar, se evaluó la variabilidad de los precios de contratos de agentes con alta participación en el mercado en comparación con aquellos con baja participación, utilizando un análisis de desviación estándar. Finalmente, se examinó la distribución de precios de los contratos de los cuatro agentes que atienden la mayor parte de la demanda del país a través de un análisis de dispersión de precios.

## **6.1.2 Objetivo Específico 2**

El segundo objetivo específico de esta tesis fue: “Analizar el comportamiento de contratación de los agentes con una participación en el mercado superior a los demás agentes”. Para desarrollar este objetivo se plantearon una serie de preguntas de negocio, las cuales se responden a continuación:

- ¿Cuál es la diferencia de precios entre agentes con alta y baja participación en la demanda?  
En el análisis se encontró que, en general, las diferencias no son consistentemente significativas a lo largo del tiempo. Aunque hay años en los que los agentes con alta participación presentan precios superiores, estas diferencias no son uniformes en el tiempo, lo que implica que otros factores también juegan un papel importante en la determinación de los precios en el mercado y por lo tanto no se encontraron diferencias significativas entre los precios de cada categoría.
- ¿Cómo es la variabilidad en los precios de los agentes con alta y baja participación?  
Se encontró que la variabilidad en los precios de los agentes con alta y baja participación mostraron diferencias significativas según el análisis de desviación estándar realizado en el periodo de análisis. Los agentes de alta participación presentaron una menor desviación estándar, lo que indica que sus precios son más estables y menos variables. Esta menor variabilidad se traduce en una mayor previsibilidad y menor riesgo financiero para estos agentes, ya que pueden anticipar mejor sus ingresos y planificar estrategias de mercado con mayor certeza. En

contraste, los agentes de baja participación experimentaron una mayor variabilidad en los precios, reflejando una mayor incertidumbre y riesgo financiero. La fluctuación en sus precios puede dificultar la planificación financiera y aumentar la exposición a riesgos de mercado.

- ¿Cómo se distribuyen los precios de los contratos de los cuatro agentes que mayor demanda atienden?

Los resultados revelaron una distribución variada de los precios a lo largo del tiempo e indican que los precios presentan una amplia dispersión, con fluctuaciones significativas y la presencia de varios valores atípicos que destacan eventos extraordinarios en el mercado eléctrico. Estos resultados sugieren que los precios de los contratos están influenciados por una combinación de factores del mercado, variaciones en la oferta y demanda, y posibles situaciones climáticas que afectan los precios de contratos. En general, la distribución de los precios refleja una dinámica de mercado compleja y volátil, subrayando la necesidad de estrategias de compra y gestión de costos robustas y adaptativas para manejar eficazmente estas variaciones.

Para responder estas preguntas de investigación, se emplearon tres metodologías específicas. En primer lugar, para evaluar cómo han evolucionado los precios entre empresas con y sin situación de control, se utilizaron diagramas de caja (boxplots) agrupados por año y tipo de situación de control, facilitando la visualización de la mediana, cuartiles y valores atípicos. En segundo lugar, para determinar el impacto de la anticipación en la negociación de precios por año, se aplicó un modelo de regresión lineal múltiple, considerando la anticipación de la negociación y la situación de control como variables independientes. Esto permite proporcionar insights sobre la importancia de la anticipación en la estrategia de negociación. Finalmente, para explorar la distribución de precios según la situación de control, se emplearon técnicas de dispersión de datos, gráficos de densidad e histogramas, permitiendo observar la relación entre precios y otros factores cuantitativos, así como estimar la distribución de probabilidad y visualizar patrones en los datos.

### **6.1.3 Objetivo Específico 3**

El tercer objetivo específico de este trabajo final de maestría fue: “Analizar las relaciones entre el precio de contratos y diferentes variables del mercado que pueden inferir en la formación de los precios”. Para desarrollar este objetivo se plantearon una serie de preguntas de negocio, las cuales fueron analizadas con el desarrollo de un modelo de regresión lineal y un modelo de árboles de regresión, las cuales se responden a continuación:

- ¿Cómo afectan la volatilidad y expectativa del precio de bolsa a los precios de contratos en un periodo determinado?

En el análisis se encontró que, el precio de bolsa con 24 meses de anticipación tiene un impacto significativo en los precios de los contratos, indicando que los

precios anteriores de la bolsa son un factor clave en la determinación de los precios de los contratos de energía. La volatilidad del precio de bolsa, aunque fue considerada, no mostró una influencia significativa en el modelo final de árboles de regresión.

- ¿Cuál es el impacto de fenómenos climáticos como El Niño o La Niña en los precios?

Se encontró que los fenómenos climáticos como El Niño o La Niña, representados por el Índice ONI (Oscilación del Sur de El Niño), no fueron seleccionados como una de las variables más influyentes en el modelo. Esto sugiere que su impacto directo en los precios de los contratos es menor comparado con otros factores.

- ¿Influye la entrada de proyectos de generación renovable en los precios de los contratos?

Los resultados revelaron que la entrada de proyectos de generación renovable no tiene una influencia significativa en los precios de los contratos, ya que la capacidad efectiva neta de fuentes no convencionales de energías renovables no fue seleccionada como una variable influyente en el modelo final de árboles de regresión. La capacidad total de generación de energía mostró tener un mayor impacto en la determinación de los precios de los contratos.

Para responder estas preguntas de investigación, sobre el impacto de la volatilidad, la expectativa de precios, los fenómenos climáticos y la entrada de proyectos de generación renovable en los precios de los contratos, se estimaron un modelo de regresión lineal y un modelo de árboles de regresión. Para el modelo de regresión lineal, la configuración óptima se obtiene al determinar el conjunto de regresores óptimos. En el caso del modelo de árboles de regresión, la configuración óptima implica determinar el conjunto de regresores óptimos y los mejores parámetros para el árbol de regresión.

#### **6.1.4 Objetivo Específico 4**

El cuarto objetivo específico fue “Comparación de los agentes del mercado, de acuerdo con los precios y porcentaje de contratación”. Para desarrollar este objetivo se plantearon una serie de preguntas de negocio, las cuales fueron analizadas mediante técnicas estadísticas y son respondidas a continuación:

- ¿Cómo es la distribución de precios de contratos según la capacidad de generación de las empresas?

La distribución de precios de contratos según la capacidad de generación de las empresas muestra que los agentes con menor capacidad de generación tienden a obtener precios más altos en comparación con los agentes con mayor capacidad de generación. Esto se observa en las medias y medianas anuales del precio promedio ponderado, donde los valores son consistentemente mayores para los agentes con baja participación. Esta tendencia sugiere que las empresas con

mayor capacidad ofrecen precios más competitivos para vender su mayor volumen de energía.

- ¿Cómo es la distribución de los precios de los contratos según el porcentaje de exposición en bolsa del agente comprador?

La distribución de los precios de los contratos según el porcentaje de exposición en bolsa del agente comprador varía significativamente a lo largo del periodo analizado. En algunos años, los agentes con alta exposición en bolsa presentan precios promedio ponderados más altos, como en 2016, 2018 y 2019. Sin embargo, en otros años, como 2017 y 2020, los agentes con baja exposición tienen precios superiores. Esto indica que no hay una tendencia constante y que otros factores además de la exposición en bolsa influyen en la formación de los precios de los contratos.

Para responder a las preguntas de investigación, se utilizaron diagramas de caja (boxplots) agrupados por año y tipo de situación de participación en la capacidad efectiva neta para el caso de los vendedores y de la exposición en bolsa para el caso de los compradores, además se realizó una prueba t Student y un análisis de medias y medianas para cada una de las categorías. Estas metodologías permitieron visualizar claramente las medianas, cuartiles y valores atípicos, facilitando la comparación de la distribución de los precios a lo largo del tiempo y entre diferentes grupos de empresas. Los resultados obtenidos proporcionaron una comprensión detallada de las variaciones en los precios y cómo son influenciadas por la situación de las diferentes empresas, revelando tendencias y patrones clave en la formación de precios en el mercado eléctrico.

## 6.2 Trabajo futuro

A pesar de que en este trabajo final de maestría se estudiaron exhaustivamente los contratos bilaterales en el mercado regulado, surgieron varios aspectos que dan pie a investigaciones subsecuentes:

- El análisis del impacto a largo plazo del Sistema de Información de Convocatorias Públicas (SICEP) en la competitividad del mercado regulado.
- La exploración de factores externos que puedan incluir en la variabilidad de los precios de contratos.
- El análisis de estrategias de contratación y gestión del riesgo por parte de empresas del sector eléctrico.
- La evaluación del impacto de las fuentes de energía renovable y nuevas tecnologías en la formación de precios de contratos y la estabilidad del mercado eléctrico.

## 7. Referencias Bibliográficas

Arango, A. (2023) Modelo de valoración de contratos en Derivex.

CREG, (2023). Medidas para facilitar las compras de energía eléctrica a través de Convocatorias Públicas.

Haya, P., (2014). La metodología CRISP-DM en ciencia de datos.

IBM, (2021) Introducción al CRISP-DM <https://www.ibm.com/docs/es/spss-modeler/SaaS?topic=guide-introduction-crisp-dm>

Kemper, A., Schmeck, M., Balci, Anna. (2020) The Market Price of Risk for Delivery Periods: Pricing Swaps and Options in Electricity Markets.

Martinez, C., Velásquez, J. (2014). Predicción de los precios de contratos de electricidad usando programación genética con bloques funcionales.

Modeniti, A. (2023) Análisis de datos: técnicas y metodologías para la aplicación de Analytics <https://www.innovaciondigital360.com/big-data/analisis-de-datos-tecnicas-y-metodologias-para-la-aplicacion-de-analytics/>

Olaya, M., (2014). Análisis y cobertura del riesgo en el precio de compra de energía eléctrica por medio de instrumentos derivados.

Olarte L., (2017). Análisis del comportamiento de los precios de oferta de energía eléctrica en Colombia del año 2000 al 2016

Ossa, D., (2012). Análisis del comportamiento estratégico de los agentes generadores en el mercado eléctrico colombiano.

Resolución CREG, (024 de 1995). Por la cual se reglamentan los aspectos comerciales del mercado mayorista de energía en el sistema interconectado nacional, que hacen parte del Reglamento de Operación.

Resolución CREG, (054 de 1994). Por la cual se regula la actividad de comercialización de energía eléctrica en el sistema interconectado nacional.

Ruiz, H. (2011) Incidencia de los contratos de venta de energía de los generadores en la formación del precio de bolsa del mercado eléctrico colombiano.

Taticuán, H. (2023) Estudio del impacto de las obligaciones de compra de energía de fuentes renovables no convencionales en el Mercado Eléctrico Mayorista Colombiano.

Trespacios, A., Rendón, J. (2011) Estrategia de cobertura a través de contratos forward en mercados eléctricos.

World Health Organization. (2020) Sitio web oficial de la Organización Mundial de la Salud.