



UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

## Mercado Energético Colombiano: Análisis y Predicción de Precios

**Autores:** Jose Manuel Criollo Chapal, Kevin Andrés Álvarez Orozco

**Fecha:** 07 de Noviembre de 2025

**Asignatura:** Computación Numérica

**Docentes:** Jaime Valencia y Esteban Velilla

Medellín, Colombia

# Índice

<b>1 Introducción</b>	<b>2</b>
<b>2 Marco Teórico</b>	<b>3</b>
2.1 Precio Spot (Bolsa de Energía) . . . . .	3
2.2 Actores del Mercado Energético Colombiano . . . . .	4
2.3 Factores que Influyen en el Precio Spot . . . . .	5
2.3.1 Dependencia de la Energía Hidroeléctrica . . . . .	6
2.3.2 Fenómeno El Niño y Variabilidad Climática . . . . .	6
2.3.3 Costos de los Combustibles . . . . .	6
2.3.4 Limitaciones en la Transmisión . . . . .	7
2.4 Comparación Internacional de Mercados Energéticos . . . . .	7
<b>3 Metodología</b>	<b>8</b>
3.1 Adquisición de Datos . . . . .	8
3.1.1 Fuentes de Datos del SIMEM . . . . .	8
3.1.2 Procedimiento de Importación de Datos . . . . .	9
3.1.3 Datos Internacionales: Alemania y Francia . . . . .	10
3.1.4 Resumen del Proceso de Adquisición . . . . .	10
<b>4 Resultados y Análisis</b>	<b>11</b>
4.1 Graficas y su análisis . . . . .	11
4.2 Conclusión general de las gráficas . . . . .	19
<b>5 Conclusiones generales</b>	<b>20</b>

# 1. Introducción

El mercado eléctrico colombiano está conformado por diferentes empresas y entidades que garantizan el suministro de energía a los usuarios de forma segura, continua y eficiente. Dentro de este sistema, el precio de la energía cumple un papel fundamental, ya que refleja el equilibrio entre la oferta y la demanda en cada momento. Uno de los precios más relevantes es el precio *spot*, también llamado precio de la Bolsa de Energía, que representa el costo de la electricidad en el mercado mayorista a corto plazo.

El precio *spot* varía constantemente porque depende de múltiples factores. En Colombia, gran parte de la energía se genera a partir de centrales hidroeléctricas, por lo que fenómenos climáticos como El Niño pueden tener un impacto importante en el precio. Cuando los niveles de los embalses disminuyen, es necesario recurrir a plantas térmicas que utilizan gas natural o carbón, las cuales tienen costos de generación más altos. Además, influyen variables como los precios de los combustibles, la demanda eléctrica nacional y las limitaciones en la red de transmisión, que pueden generar diferencias de precios entre regiones.

El objetivo de este proyecto es analizar el comportamiento del precio *spot* en Colombia y compararlo con el de otros países que operan con estructuras de generación distintas. Para ello, se desarrollará una aplicación en Python capaz de adquirir datos históricos, procesarlos, analizarlos y aplicar un modelo predictivo básico que permita estimar el precio futuro. Esta herramienta permitirá comprender mejor los factores que afectan el costo de la energía y su variación a lo largo del tiempo.

Además del análisis técnico, el desarrollo del proyecto busca fortalecer el uso de herramientas de programación y análisis de datos, como Python, junto con la generación de gráficos e interpretación de resultados, habilidades esenciales en la formación de un ingeniero eléctrico.

## 2. Marco Teórico

### 2.1. Precio Spot (Bolsa de Energía)

El precio *spot*, o precio de bolsa, es el valor al que se compra y vende la energía eléctrica en el mercado mayorista colombiano para entrega inmediata. Este precio se determina cada hora y corresponde al punto de equilibrio entre la oferta de los generadores y la demanda de los consumidores. La empresa XM S.A. E.S.P. es la encargada de calcular y publicar estos precios bajo la regulación de la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) [1].

En términos técnicos, el precio de bolsa depende del costo marginal de la última planta generadora que entra al despacho para cubrir la demanda. Cuando los embalses se encuentran en niveles altos y las centrales hidroeléctricas pueden operar con mayor capacidad, el precio tiende a disminuir. En cambio, cuando los niveles bajan o se requiere mayor participación térmica, el precio aumenta debido al mayor costo del gas o del carbón. Por ejemplo, XM reportó que en diciembre de 2024 el precio promedio de bolsa fue de 759,54 COP/kWh, una disminución del 27,5% frente a noviembre, aunque todavía un 13,4% superior al registrado en diciembre de 2023 [2].

El precio de bolsa también sirve como referencia para los contratos bilaterales entre generadores y comercializadores, además de reflejar el estado general del sistema eléctrico. Un incremento sostenido en los precios puede indicar una reducción en los niveles de los embalses o limitaciones en la red de transmisión. Según Portafolio (2025), en marzo de ese año el precio promedio cayó un 60% respecto al mismo mes del año anterior, debido a la recuperación de los embalses y la mayor participación de las centrales hidroeléctricas en la generación [3].

En resumen, el precio *spot* es una herramienta importante para entender cómo se comporta el mercado eléctrico colombiano y cómo los factores del clima, la generación y los combustibles afectan el costo de la energía cada hora.

## **2.2. Actores del Mercado Energético Colombiano**

El mercado energético colombiano está conformado por diferentes agentes que participan en las etapas de generación, transmisión, distribución, comercialización y operación del sistema. Cada uno cumple funciones específicas dentro del Mercado de Energía Mayorista (MEM), regulado por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) y supervisado por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD).

**Generadores:** son las empresas encargadas de producir la energía eléctrica a partir de distintas fuentes, principalmente hidroeléctricas, térmicas y, en menor proporción, solares y eólicas. Estas compañías ofrecen su energía en la Bolsa de Energía o a través de contratos bilaterales con los comercializadores. Ejemplos de generadores son Empresas Públicas de Medellín (EPM), ISAGEN y Emgesa.

**Transmisores:** se encargan de transportar la energía desde los centros de generación hasta los puntos de distribución mediante las redes del Sistema de Transmisión Nacional (STN). Su función principal es garantizar la estabilidad y confiabilidad del flujo de energía en todo el país. ISA Intercolumbia es el principal operador de esta red.

**Distribuidores:** operan las redes que llevan la electricidad desde los sistemas de transmisión hasta los usuarios finales. Son responsables de mantener la infraestructura eléctrica local y asegurar la calidad del servicio en cada región.

**Comercializadores:** son las empresas que compran energía en el mercado mayorista y la venden a los usuarios regulados (hogares e industrias pequeñas) o no regulados (grandes consumidores). Además, se encargan de la facturación y atención al cliente. Ejemplos de comercializadores son CELSIA, ENEL y Air-e.

**Operador del Mercado y Administrador del Sistema:** XM S.A. E.S.P. actúa como operador del Sistema Interconectado Nacional (SIN) y como administrador del mercado. Su función es coordinar la operación en tiempo real del sistema eléctrico y garantizar que la oferta y la demanda estén balanceadas. También publica los precios de bolsa y la información oficial del mercado eléctrico colombiano [4].

**Reguladores y entidades de control:** la CREG define las reglas del mercado y las metodologías tarifarias, mientras que la SSPD supervisa que las empresas cumplan con la normativa vigente y mantengan la calidad del servicio. El Ministerio de Minas y Energía formula la política energética nacional [5].

En conjunto, estos actores permiten el funcionamiento coordinado del sistema eléctrico colombiano, asegurando la continuidad del suministro y la transparencia en las transacciones del mercado.

### 2.3. Factores que Influyen en el Precio Spot

El precio spot de la energía en Colombia depende de varios factores relacionados con la generación, la demanda y las condiciones del sistema eléctrico. Aunque se determina principalmente por la oferta y la demanda en el mercado mayorista, hay aspectos técnicos y ambientales que lo afectan de manera directa.

Uno de los factores más importantes es la disponibilidad de agua en los embalses. Como la mayoría de la electricidad del país se produce en centrales hidroeléctricas, una reducción en los niveles de los embalses disminuye la generación hidráulica y obliga a utilizar plantas térmicas, que tienen mayores costos de operación. Esto ocurre, por ejemplo, durante el fenómeno de *El Niño*, cuando el clima seco reduce la producción hidroeléctrica y el precio spot tiende a subir.

La demanda de energía también influye. Cuando aumenta el consumo eléctrico, especialmente en horas pico o en temporadas de calor, se requiere activar más plantas generadoras y el precio en bolsa sube. En cambio, cuando la demanda baja o entran nuevas fuentes de generación, los precios suelen estabilizarse.

Las limitaciones en el sistema de transmisión pueden generar congestiones y afectar los precios en ciertas regiones. Si la energía no puede transportarse fácilmente desde las zonas generadoras hasta los centros de consumo, se producen diferencias de precios locales.

Finalmente, los cambios en la regulación del mercado y en los costos de combustibles

fósiles, como el gas natural o el carbón, también influyen. Cuando aumenta el costo de estos combustibles o cambian las reglas del mercado, los precios tienden a ajustarse al alza.

En general, el precio spot refleja el equilibrio entre la disponibilidad de recursos, la demanda y las condiciones del sistema eléctrico colombiano, por lo que puede variar de forma significativa dependiendo del clima y la situación del mercado.

### **2.3.1. Dependencia de la Energía Hidroeléctrica**

Colombia depende en gran medida de la generación a partir de centrales hidroeléctricas, que aportan alrededor del 70 % de la electricidad nacional. Esta alta participación hace que el precio spot esté fuertemente influenciado por los niveles de los embalses y las condiciones hidrológicas. En épocas de lluvias abundantes, los costos de generación disminuyen; mientras que en temporadas secas, la oferta baja y el precio tiende a aumentar.

### **2.3.2. Fenómeno El Niño y Variabilidad Climática**

El Fenómeno El Niño provoca sequías prolongadas que reducen los caudales de los ríos y, con ello, la capacidad de generación de las centrales hidroeléctricas. Como respuesta, aumenta el uso de plantas térmicas, las cuales presentan mayores costos operativos, elevando así el precio spot. Este fenómeno se considera uno de los principales factores de volatilidad en el mercado eléctrico colombiano.

### **2.3.3. Costos de los Combustibles**

Durante los períodos de baja generación hídrica, las plantas térmicas utilizan combustibles como gas natural o diésel. El precio spot se ve afectado por las variaciones internacionales en los precios de estos combustibles, así como por los costos logísticos y de transporte interno. Por ello, el comportamiento del mercado eléctrico también depende del contexto global de los hidrocarburos.

#### **2.3.4. Limitaciones en la Transmisión**

Las limitaciones en las líneas de transmisión pueden causar congestiones en el sistema eléctrico, lo que impide que la energía más barata llegue a todas las regiones. En esos casos, el precio spot aumenta en las zonas afectadas por los mayores costos de transporte o redistribución. Estos problemas suelen presentarse cuando hay alta demanda o mantenimientos en la red. Además, la expansión del sistema de transmisión no siempre avanza al mismo ritmo que la generación, lo que hace necesario mejorar la planeación conjunta del sistema eléctrico.

### **2.4. Comparación Internacional de Mercados Energéticos**

La estructura del mercado eléctrico y la composición de la matriz energética influyen directamente en la volatilidad del precio spot. En Colombia, la alta dependencia de la generación hidroeléctrica hace que los precios sean muy sensibles a los períodos de sequía y a fenómenos como El Niño, lo que genera fluctuaciones marcadas cuando disminuye el nivel de los embalses.

En contraste, Francia cuenta con una matriz dominada por la energía nuclear, que representa más del 60 % de su generación eléctrica. Este tipo de fuente permite mantener precios más estables en el mercado mayorista, ya que no depende de las condiciones climáticas y los costos de operación son bajos una vez construidas las plantas. Sin embargo, los precios pueden verse afectados por mantenimientos programados o por decisiones regulatorias relacionadas con la seguridad y la operación de las centrales nucleares.

Alemania, por su parte, tiene una alta participación de energías renovables no convencionales, especialmente eólica y solar. Aunque estas fuentes han reducido el costo promedio de generación, la intermitencia y la variabilidad del recurso generan oscilaciones más frecuentes en el precio spot. En los momentos de baja producción renovable, el sistema depende del gas natural o del intercambio con otros países europeos, lo que incrementa la volatilidad de los precios.

En resumen, mientras Colombia presenta una volatilidad climática, Francia mantiene

precios más estables gracias a la energía nuclear, y Alemania enfrenta variaciones ligadas a la intermitencia renovable y a los precios internacionales de los combustibles fósiles.

### 3. Metodología

#### 3.1. Adquisición de Datos

Para el desarrollo del proyecto “**Mercado Energético Colombiano: Análisis y Predicción de Precios**”, se recopilaron y procesaron diversas fuentes de información provenientes del **Sistema de Información del Mercado Energético Colombiano (SIMEM)** administrado por XM. Este sistema ofrece acceso a datos oficiales del mercado eléctrico, variables hidrológicas, y reportes de operación del sistema interconectado nacional.

##### 3.1.1. Fuentes de Datos del SIMEM

Se utilizaron los siguientes conjuntos de datos (datasets), identificados mediante sus respectivos códigos dentro del catálogo del SIMEM:

- **B0E933 – Niveles de Embalses:** contiene información sobre el volumen útil diario de los embalses, vertimientos y capacidad útil expresada en energía. Estos datos son fundamentales para analizar la relación entre los niveles hídricos y el comportamiento del precio spot de la energía.
- **14FABB – Demanda Real:** registra la demanda real de energía eléctrica (kWh) por hora. Esta variable permite estudiar la influencia de la demanda sobre la formación del precio de la energía en el mercado.
- **9E9EE7 – Pronóstico de Demanda:** proporciona los valores pronosticados de demanda eléctrica por mercado de comercialización, lo que facilita comparar la demanda estimada frente a la demanda efectivamente atendida.

- **34FFDA – Aportes Hídricos en Porcentaje:** incluye el porcentaje de aportes hídricos estimados respecto a la media histórica, una variable crítica en la modelación de precios del mercado colombiano dada la dependencia hidroeléctrica del sistema.
- **Precio Spot Diario:** extraído del conjunto de datos del SIMEM correspondiente a la variable de precio ponderado (PPBO y PPBOGReal), expresado en COP/kWh.

### 3.1.2. Procedimiento de Importación de Datos

La extracción y estructuración de la información del SIMEM se realizó utilizando la biblioteca `pydataxm`, desarrollada por XM para acceder a su catálogo de datos públicos. A continuación se muestra el bloque de código empleado para realizar la importación de cada conjunto de datos:

```
# Importación desde el catálogo SIMEM
from pydataxm.pydatasimem import CatalogSIMEM

# Crear una instancia del catálogo de datasets
catalogo_conjuntos = CatalogSIMEM('Datasets')

# Consultar metadatos y columnas disponibles
print("Nombre: ", catalogo_conjuntos.get_name())
print("Metadata: ", catalogo_conjuntos.get_metadata())
print("Columnas: ", catalogo_conjuntos.get_columns())

# Descargar la información en formato DataFrame
data = catalogo_conjuntos.get_data()
print(data)
```

El procedimiento anterior permite obtener un `DataFrame` de pandas con los datos del

dataset identificado por su ID dentro del SIMEM. Posteriormente, se aplicaron filtros de fechas para el período comprendido entre el **1 de enero de 2025 y el 5 de noviembre de 2025**, eliminando valores atípicos y unificando variables por fecha.

### **3.1.3. Datos Internacionales: Alemania y Francia**

Además de la información proveniente del mercado colombiano, se incluyeron datos de precios spot de los mercados eléctricos de **Alemania y Francia**. Estos valores fueron obtenidos desde la base de datos abierta de **Ember Energy**, una organización internacional dedicada al análisis del sistema energético y la transición eléctrica.

Los datos se descargaron directamente desde su portal oficial <https://ember-energy.org>, en formato .csv, e incluyen información diaria correspondiente al año 2024, con variables que representan el país, el código ISO3, la fecha y el precio spot de la energía expresado en euros por megavatio-hora (EUR/MWh).

El archivo fue descargado manualmente y cargado al entorno de ejecución de Google Colab mediante la interfaz de subida de archivos. De esta forma, se integraron los precios de Europa con los de Colombia (convertidos a euros), permitiendo realizar comparaciones internacionales de precios spot durante el año 2024.

El archivo fue descargado manualmente y cargado al entorno de ejecución de Google Colab mediante la interfaz de subida de archivos. De esta forma, se integraron los precios de Europa con los de Colombia (convertidos a euros), permitiendo realizar comparaciones internacionales de precios spot durante el año 2024.

### **3.1.4. Resumen del Proceso de Adquisición**

En resumen, la información proviene de dos fuentes principales:

1. **Datos nacionales:** obtenidos directamente del SIMEM mediante la librería pydataxm.
2. **Datos internacionales:** precios spot de Alemania y Francia, descargados de una base de datos pública en formato CSV.

Toda la información fue procesada, depurada y unificada en un solo DataFrame maestro, que sirvió de base para el análisis exploratorio y la construcción del modelo predictivo implementado posteriormente con la biblioteca `scikit-learn`.

## 4. Resultados y Análisis

### 4.1. Graficas y su análisis

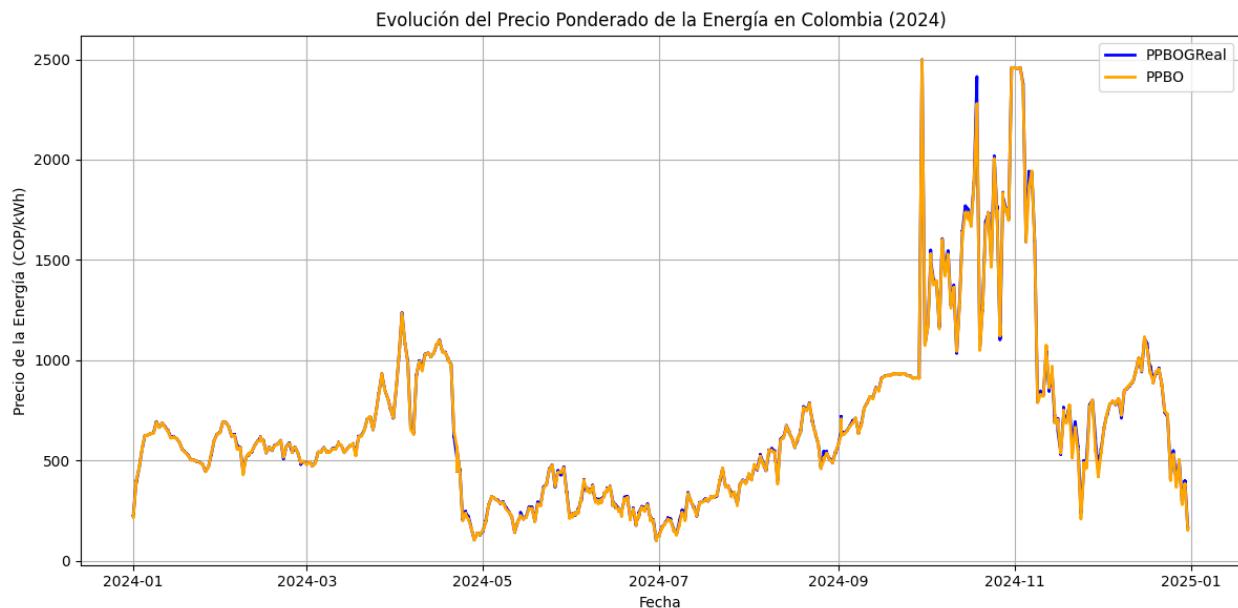


Figura 1: Precio Ponderado de la Energía - Colombia 2024

Los precios reales y ponderados siguen la misma tendencia, mostrando coherencia en los datos. A partir de septiembre se observan picos muy altos, reflejando un mercado inestable. Posibles causas: sequías, aumento de demanda o factores regulatorios. Hacia fin de año los precios bajan, cerrando con tendencia descendente.

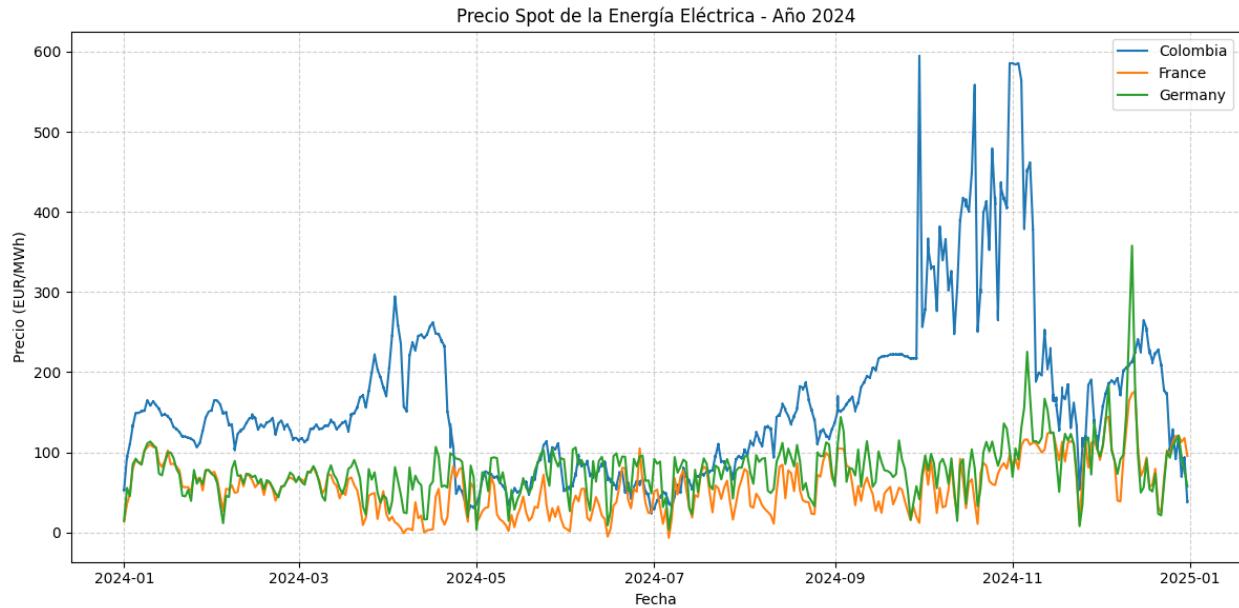


Figura 2: Precio Spot de la Energía - Comparación Internacional 2024

En la Figura 2 podemos observar como Colombia presenta mayor volatilidad y precios más altos que Francia y Alemania. Los mercados europeos se mantienen más estables y con menor variación. La diferencia muestra la alta dependencia de Colombia de factores climáticos e hídricos. Europa exhibe una matriz energética más diversificada y resistente a cambios.

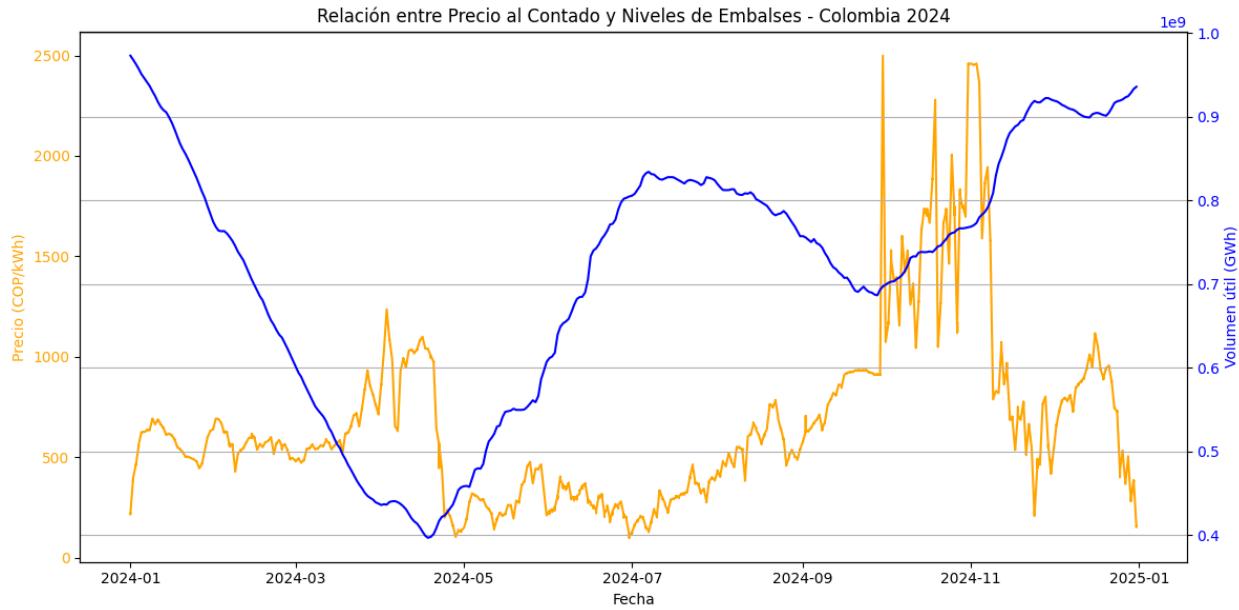


Figura 3: Relación entre Precio al Contado y Niveles de Embalses - Colombia 2024

En la Figura 3 se observa una relación inversa entre el volumen de los embalses y el precio spot de la energía. Cuando el nivel de los embalses es bajo, los precios tienden a subir, lo que refleja la fuerte dependencia hídrica del sistema eléctrico colombiano. A medida que los embalses se recuperan hacia finales de año, los precios comienzan a disminuir.

También se nota que en el mes de octubre, aunque los embalses aumentan su volumen útil, los precios se mantienen estables. Esto ocurre porque en ese periodo aún se esperaban posibles temporadas de sequía, lo que generaba incertidumbre en el mercado energético.

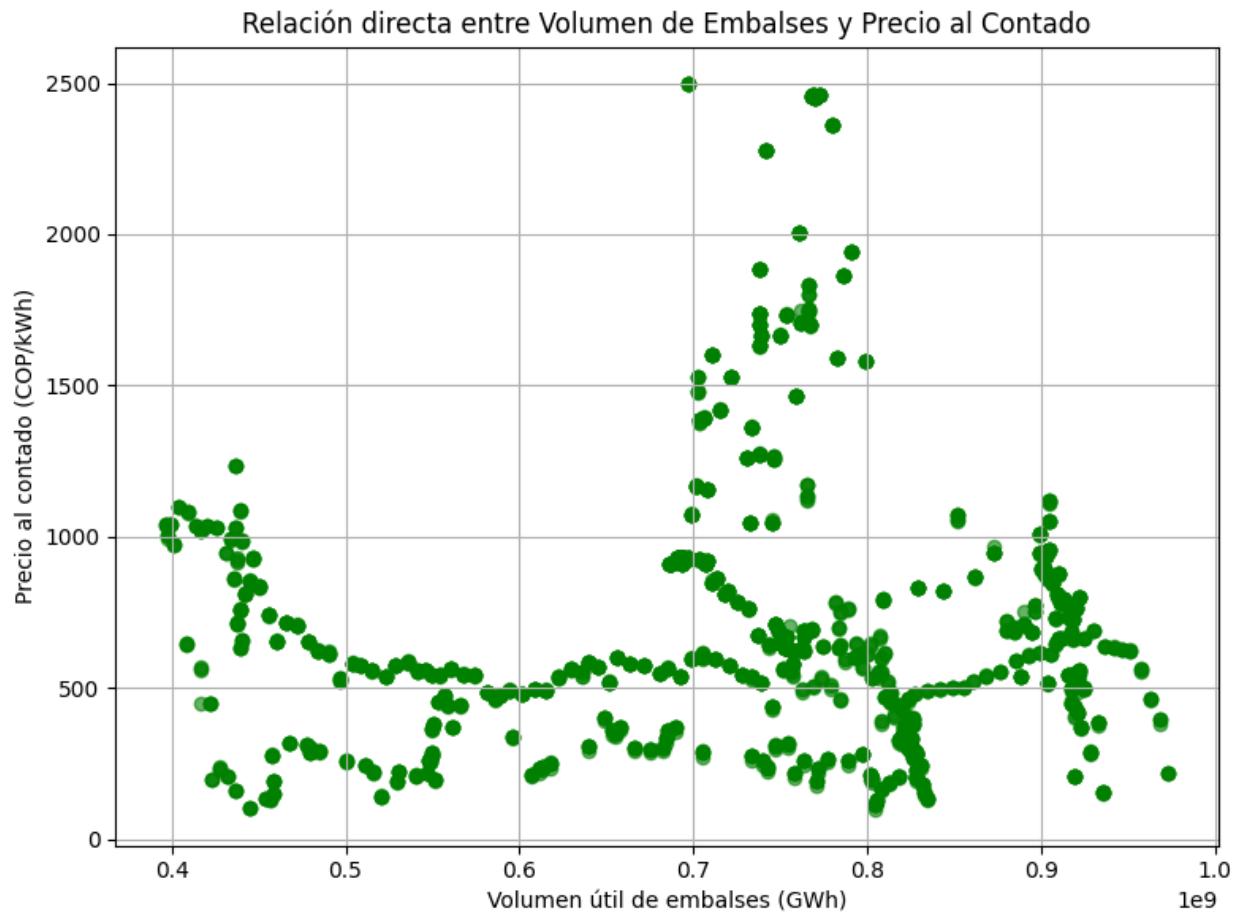


Figura 4: Relación Directa entre Volumen de Embalses y Precio al Contado

En la Figura 4 se puede observar una correlación negativa evidente: a mayor volumen útil de los embalses, menor es el precio spot de la energía. Esta relación muestra la vulnerabilidad del mercado eléctrico colombiano frente a las variaciones en las condiciones hidrológicas. Además, se aprecian ciertas distorsiones en los datos, ya que durante ese periodo aún se pronosticaban posibles temporadas de sequía, lo que generaba incertidumbre en el comportamiento del mercado. La concentración de puntos en determinados rangos de volumen sugiere que el mercado presenta una mayor volatilidad cuando los embalses se encuentran por debajo del 70 % de su capacidad útil.

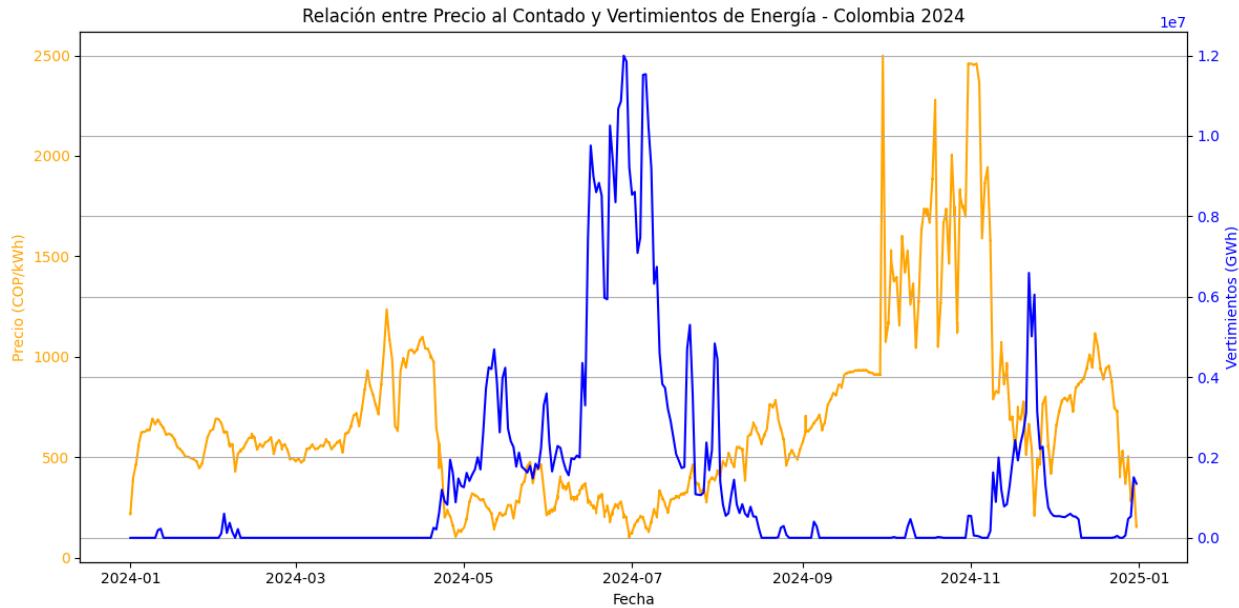


Figura 5: Relación entre el precio spot y los vertimientos de energía en Colombia durante el 2024

En la Figura 5 se observa una relación inversa entre los vertimientos de energía y el precio spot. Cuando los vertimientos aumentan, los precios tienden a disminuir, lo que indica una mayor disponibilidad de recursos hídricos y, por tanto, una oferta más abundante de generación hidroeléctrica. Por el contrario, en los períodos donde los vertimientos son escasos, los precios al contado muestran picos significativos, reflejando una menor disponibilidad de agua en los embalses y un mayor costo de generación.

Se presentan algunas variaciones atípicas hacia los meses de septiembre y octubre, donde los vertimientos crecen de forma notable, pero los precios no disminuyen en la misma proporción. Esta distorsión se explica porque durante ese periodo aún persistían pronósticos de futuras temporadas de sequía, lo que generaba incertidumbre en el mercado y mantenía los precios elevados pese a la recuperación parcial de los recursos hídricos.

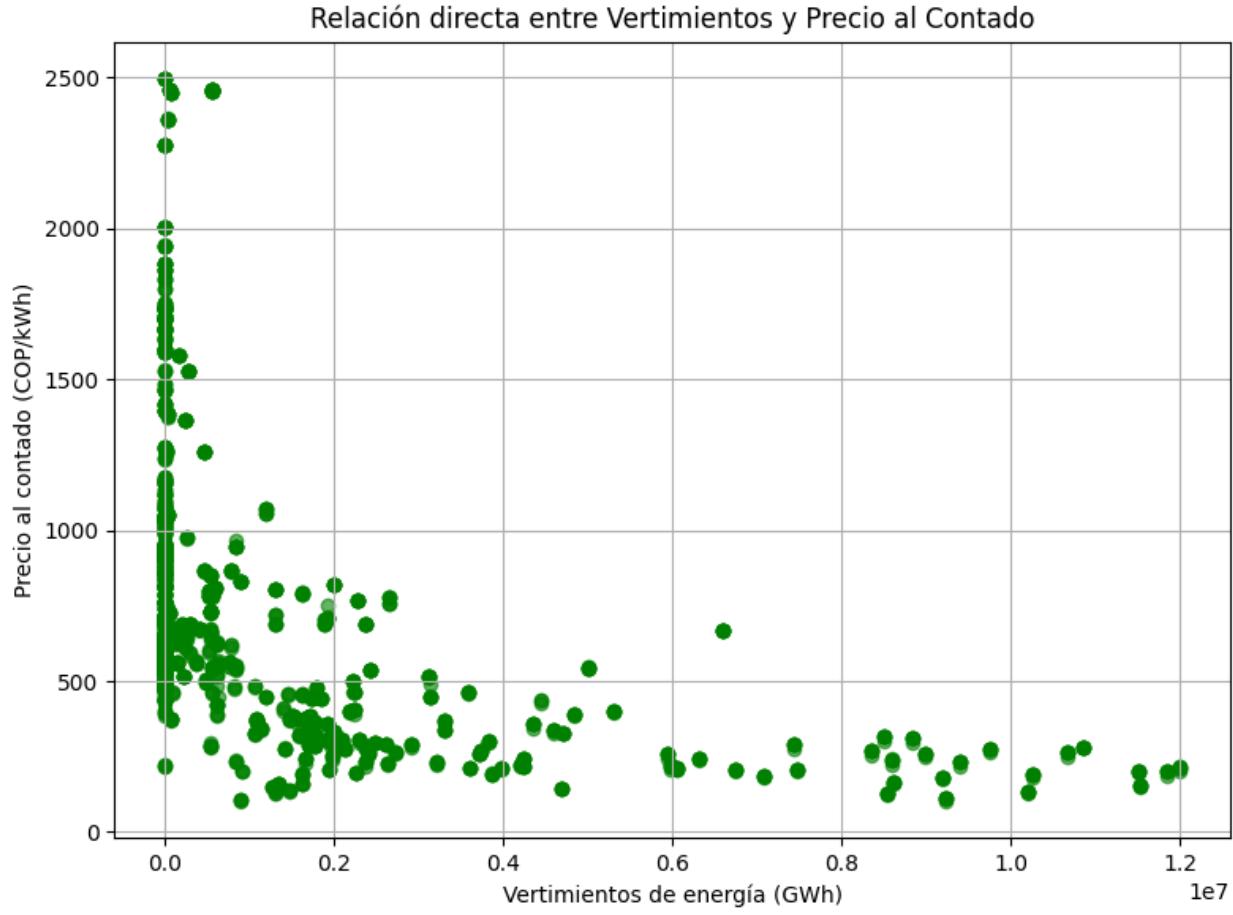


Figura 6: Relación entre los vertimientos de energía y el precio spot en Colombia durante 2024

En la Figura 6 se evidencia una correlación negativa entre los vertimientos de energía y el precio spot. Cuando los vertimientos son altos, los precios tienden a reducirse de forma marcada, mientras que en los períodos con vertimientos bajos, los precios presentan valores elevados, reflejando la dependencia del sistema eléctrico colombiano de la generación hídrica.

Sin embargo, se observan ciertas dispersiones en los datos, especialmente en rangos medios de vertimiento, donde los precios no siguen una tendencia clara. Estas variaciones se explican por la incertidumbre presente en el mercado durante los meses en los que aún se pronosticaban posibles temporadas de sequía, lo que mantuvo una presión sobre los precios a pesar del aumento temporal de los vertimientos.

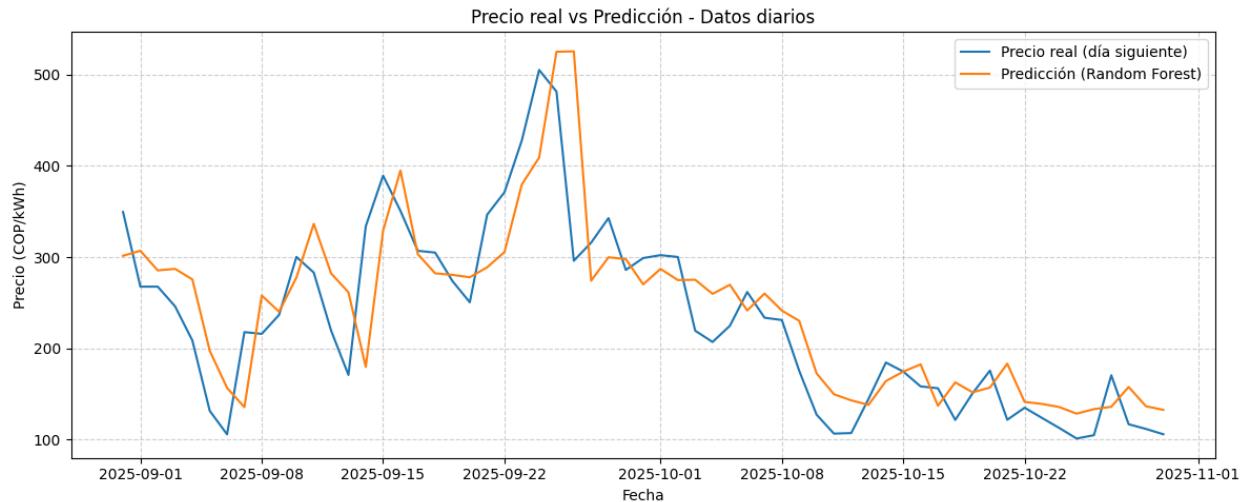


Figura 7: Precio Real vs. Predicción - Modelo Random Forest

En la Figura 7 se muestra la comparación entre los precios reales del mercado eléctrico colombiano y los valores estimados mediante el modelo Random Forest. Se observa que la predicción sigue de manera adecuada la tendencia general de los precios diarios, reproduciendo los picos y caídas más relevantes del periodo analizado.

Aunque existen pequeñas desviaciones en algunos días, el modelo logra capturar la dinámica del mercado con buena precisión. Las diferencias observadas pueden atribuirse a variaciones súbitas en variables exógenas como el clima o el comportamiento de la demanda, factores que pueden afectar los precios reales y no siempre son completamente captados por el modelo predictivo.

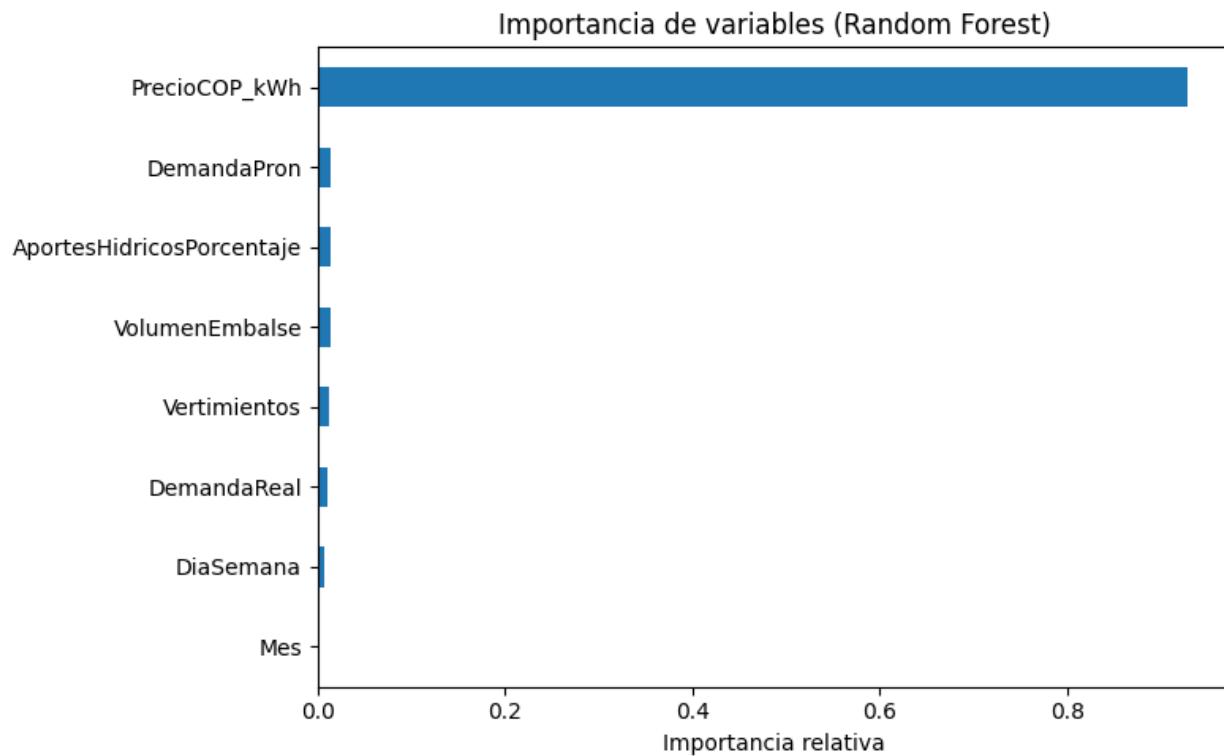


Figura 8: Importancia de Variables - Modelo Random Forest

En la Figura 8 se observa la importancia relativa de las variables utilizadas en el modelo de predicción. La demanda pronosticada y los aportes hídricos destacan como las variables más influyentes en la estimación del precio de la energía. El volumen de los embalses también presenta un peso significativo, lo que refuerza su papel fundamental en la formación de precios dentro del sistema eléctrico colombiano. En contraste, variables como el día de la semana y el mes muestran un impacto menor, lo que sugiere que los factores estructurales y de oferta y demanda tienen una mayor incidencia que la simple estacionalidad temporal.

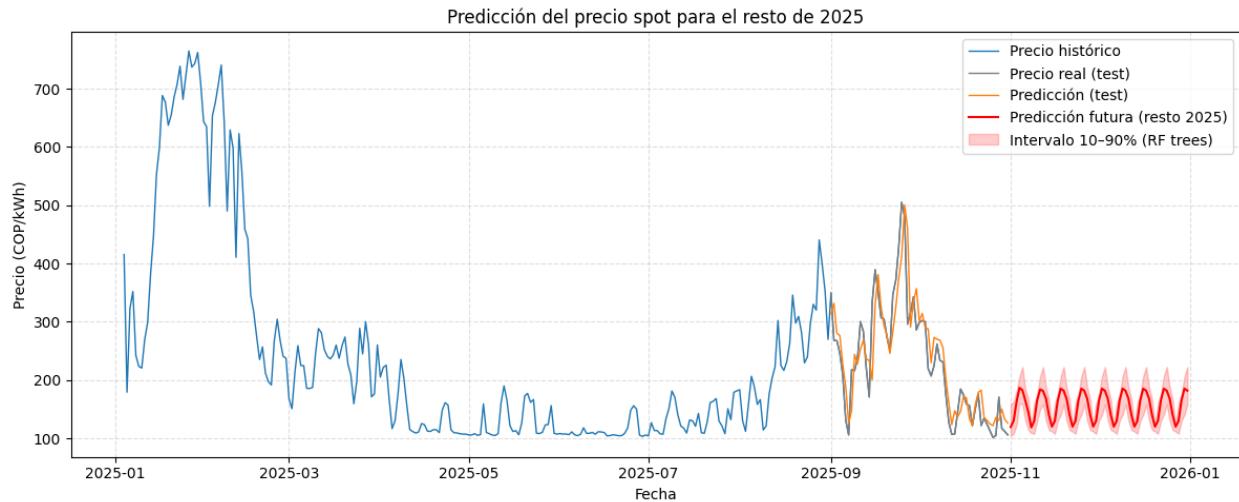


Figura 9: Predicción del Precio Spot para el Resto de 2025

Se proyecta que los precios se mantendrán dentro de un rango moderado durante la mayor parte del 2025, con un posible incremento hacia el último trimestre. El intervalo de confianza muestra una banda ancha en ciertos períodos, lo que refleja incertidumbre en escenarios de baja oferta hídrica o alta demanda. Se recomienda monitorear continuamente los niveles de embalses y la demanda para ajustar las proyecciones.

#### 4.2. Conclusión general de las gráficas

Los resultados presentados en las gráficas confirman la alta sensibilidad del precio de la energía en Colombia frente a los niveles de los embalses y a las variaciones en la demanda. El modelo de predicción muestra un desempeño aceptable, aunque podría mejorar incorporando variables climáticas y factores relacionados con la política energética. Finalmente, se evidencia que la estabilidad del mercado eléctrico colombiano depende en gran medida de la gestión del recurso hídrico, lo que resalta la necesidad de fortalecer las estrategias de diversificación de la matriz energética y la planificación preventiva ante posibles períodos de sequía.

## 5. Conclusiones generales

El desarrollo de este proyecto permitió analizar en profundidad el comportamiento del mercado energético colombiano, confirmando la alta dependencia del sistema eléctrico nacional de las condiciones hidrológicas. A través del análisis de datos históricos y la implementación de modelos predictivos, se evidenció que:

Los precios spot en Colombia presentan una volatilidad significativamente mayor en comparación con mercados europeos como Francia y Alemania. Esta diferencia se explica principalmente por la composición de la matriz energética, donde Colombia depende en aproximadamente un 70 % de la generación hidroeléctrica, mientras que los países europeos analizados cuentan con matrices más diversificadas y menos susceptibles a variaciones climáticas.

Se comprobó la existencia de una relación inversa directa entre los niveles de los embalses y el precio de la energía. Cuando el volumen útil de los embalses disminuye por debajo del 70 % de su capacidad, se observan incrementos sustanciales en los precios spot, debido a la necesidad de activar plantas térmicas con costos de generación más elevados.

El modelo predictivo basado en Random Forest demostró ser efectivo para capturar las tendencias generales del mercado, con una precisión aceptable en escenarios normales. Sin embargo, presentó limitaciones para predecir eventos extremos o cambios bruscos, lo que sugiere la necesidad de incorporar variables adicionales relacionadas con fenómenos climáticos extremos y decisiones regulatorias imprevistas.

La implementación de la herramienta en Python resultó adecuada para el procesamiento y análisis de grandes volúmenes de datos del sector eléctrico, permitiendo la visualización clara de las relaciones entre variables y la generación de pronósticos útiles para la toma de decisiones.

En términos de política energética, los resultados refuerzan la urgencia de avanzar en la diversificación de la matriz energética colombiana, con especial énfasis en el desarrollo de fuentes no convencionales de energía renovable que reduzcan la dependencia de los recursos hídricos y mejoren la resiliencia del sistema ante fenómenos climáticos extremos.

Finalmente, el proyecto demostró el valor del análisis de datos como herramienta para comprender y predecir el comportamiento de mercados complejos como el eléctrico, proporcionando hallazgos valiosos para generadores, comercializadores y reguladores del sector.

## Bibliografía

- [1] XM S.A. E.S.P. (s.f.). *Precio de Bolsa y Escasez*. Recuperado de <https://www.xm.com.co/transacciones/cargo-por-confiabilidad/precio-de-bolsa-y-escasez>
- [2] XM S.A. E.S.P. (2024). *Informe General del Mercado – Diciembre 2024*. Recuperado de [https://sinergox.xm.com.co/infms/Informes%20Mensuales/2024/11\\_Noviembre/00\\_General\\_Mercado\\_Hasta\\_09\\_12\\_2024.pdf](https://sinergox.xm.com.co/infms/Informes%20Mensuales/2024/11_Noviembre/00_General_Mercado_Hasta_09_12_2024.pdf)
- [3] Portafolio. (2025, abril 25). *Más del 60 % disminuyó el precio de la energía en bolsa a marzo de 2025*. Recuperado de <https://www.portafolio.co/energia/mas-del-60-disminuyo-el-precio-de-la-energia-en-bolsa-a-marzo-2025-628760>
- [4] XM S.A. E.S.P. (s.f.). *Funciones y responsabilidades*. Recuperado de <https://www.xm.com.co/nuestra-empresa/informes/informes-corporativos/informe-integral-de-gestion-sostenible>
- [5] Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). (s.f.). *Marco regulatorio del sector eléctrico colombiano*. Recuperado de <https://www.creg.gov.co>
- [6] XM S.A. E.S.P. (2024). *Informe de gestión 2024 – XM, 20 años hechos por Colombia*. Recuperado de [https://www.xm.com.co/sites/default/files/documents/Carta%20informe%20de%20gesti%C3%B3n%202024\\_0.pdf](https://www.xm.com.co/sites/default/files/documents/Carta%20informe%20de%20gesti%C3%B3n%202024_0.pdf)