

PROYECCIÓN DE PRECIOS DE LOS ENERGÉTICOS EN FUENTE DE PRODUCCIÓN Y EN PLANTAS DE GENERACIÓN ENERO 2021 – DICIEMBRE 2036 Versión septiembre 2021



○

REPUBLICA DE COLOMBIA
Ministerio de Minas y Energía



SUBDIRECCIÓN DE HIDROCARBUROS

Bogotá D.C – Colombia
Septiembre de 2021

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|--|----|
| PROYECCIÓN DE PRECIOS DE LOS ENERGÉTICOS EN FUENTE DE PRODUCCIÓN Y EN PLANTAS DE GENERACIÓN..... | 4 |
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 4 |
| 2. UBICACIÓN DE TERMOELÉCTRICAS..... | 5 |
| 3. RESULTADOS PRINCIPALES..... | 7 |
| 4. PROYECCIÓN DE PRECIOS EN FUENTE DE PRODUCCIÓN..... | 9 |
| 4.1 Gas natural..... | 12 |
| 4.2 Crudo..... | 13 |
| 4.3 Diesel..... | 14 |
| 4.4 Gasolina..... | 16 |
| 4.5 Jet Fuel..... | 18 |
| 4.6 Combustóleo..... | 19 |
| 4.7 GLP..... | 20 |
| 4.8 Carbón..... | 21 |
| 5 PROYECCIÓN DE PRECIOS DE LOS ENERGÉTICOS PARA GENERACIÓN..... | 23 |
| 5.1 Gas natural..... | 23 |
| 5.2 Crudo..... | 24 |
| 5.3 Diesel..... | 25 |
| 5.4 Jet Fuel..... | 26 |
| 5.5 Combustóleo..... | 27 |
| 5.6 GLP y Gas..... | 28 |
| 5.7 Carbón..... | 30 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 32 |

LISTADO DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1 Termoeléctricas en el territorio nacional..... | 5 |
| Tabla 2 Marcador internacional asociado a proyecciones nacionales (Corto plazo)..... | 10 |
| Tabla 3 Marcador internacional asociado a proyecciones nacionales (Largo plazo) | 11 |
| Tabla 4 Tarifas de transporte de gas | 23 |
| Tabla 5 Tarifa de transporte de diésel..... | 26 |
| Tabla 6 Tarifa de transporte de combustóleo | 28 |

LISTADO DE GRÁFICAS

| | |
|---|----|
| Gráfica 1 Precio relativo de combustibles fósiles en fuente de producción | 7 |
| Gráfica 2. Precios relativos para generación en la Costa..... | 8 |
| Gráfica 3. Precios relativos para generación en el interior | 8 |
| Gráfica 4. Precios relativos para generación en el suroccidente | 9 |
| Gráfica 5 Proyección de precios de gas natural en fuente de producción | 13 |
| Gráfica 6 Proyección de precios de crudo en fuente de producción..... | 14 |
| Gráfica 7 Proyección de precios de Diesel en fuente de producción y en EDS..... | 16 |
| Gráfica 8 Proyección de precios de gasolina motor en fuente de producción y en EDS... | 18 |
| Gráfica 9 Proyección de precios de Jet en fuente de producción..... | 19 |
| Gráfica 10 Proyección de precios de combustóleo en fuente de producción..... | 20 |
| Gráfica 11 Proyección de precios de GLP en fuente de producción..... | 21 |
| Gráfica 12 Proyección de precios de carbón en fuente de producción..... | 22 |
| Gráfica 13 Proyección de precios de gas en plantas termoeléctricas..... | 24 |
| Gráfica 14 Proyección de precios de crudo en plantas termoeléctricas..... | 25 |
| Gráfica 15 Proyección de precios de Diesel en plantas termoeléctricas..... | 26 |
| Gráfica 16 Proyección de precios de Jet en plantas termoeléctricas..... | 27 |
| Gráfica 17 Proyección de precios de combustóleo en plantas termoeléctricas | 28 |
| Gráfica 18 Proyección de precios de GLP en plantas termoeléctricas | 29 |
| Gráfica 19 Alternativa de proyección de precios para planta termosolo | 30 |
| Gráfica 20 Proyección de precios de carbón en plantas termoeléctricas..... | 31 |

LISTADO DE FIGURAS

| | |
|------------------------------------|---|
| Figura 1 Mapa termoeléctricas..... | 6 |
|------------------------------------|---|

LISTADO DE ANEXOS

- Anexo A. Escenarios alto y bajo por combustible y fuente
- Anexo B. Escenarios alto y bajo por planta y combustible

LISTA DE SIGLAS:

| | |
|------|--|
| COP | Pesos colombianos |
| CREG | Comisión de Regulación de Energía y Gas |
| DOE | Departamento de energía de los Estados Unidos |
| EIA | Administración de Información Energética de los Estados Unidos |
| FOB | Valor Free On Board |
| GLP | Gas Licuado del Petróleo |
| GNL | Gas Natural Licuado |
| HH | Henry Hub |
| IP | Ingreso al productor |
| OPEP | Organización de Países Exportadores de Petróleo |
| PIB | Producto Interno Bruto |
| UPME | Unidad de Planeación Minero Energética |

LISTA DE UNIDADES:

| | |
|------|-----------------|
| bbl | Barril |
| Kg | Kilogramo |
| MBTU | Millones de BTU |
| t | Tonelada |

Nota:

| | |
|---|------------------------|
| , | Separador de miles |
| . | Separador de decimales |

PROYECCIÓN DE PRECIOS DE LOS ENERGÉTICOS EN FUENTE DE PRODUCCIÓN Y EN PLANTAS DE GENERACIÓN

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este documento es presentar la estimación de los precios de las distintas fuentes energéticas utilizadas para la generación de electricidad. Estos precios, son calculados a partir de las perspectivas del mercado internacional de energía y de la regulación y normatividad nacional existente en cada una de estas fuentes. Con base en el análisis de las variables y seguimiento a los distintos mercados, ya sean regionales, nacionales o internacionales, se estimaron escenarios de precios de corto y largo plazo de los distintos energéticos que hoy son utilizados para la generación de electricidad en Colombia.

El escrito pretende dar una visión a futuro del comportamiento de los energéticos en los próximos quince años, lo cual implica el análisis de los fundamentales de cada uno de ellos, así como las particularidades en los mercados internacionales, y los impactos que pueden tener múltiples variables, para el caso particular de esta edición se tuvo en cuenta el efecto del Coronavirus a nivel mundial, el cual afectó todas las actividades a nivel global y por las medidas de confinamiento tomada por múltiples países las dinámicas del mercado se vieron fuertemente alteradas en el primer semestre del 2020 y mostraron signos de recuperación a medida que ciertas actividades comerciales y de comercio se abrieron nuevamente, por lo que la predicción o proyección aquí expuesta, deber ser percibida como tendencias de comportamiento y tiene una gran incertidumbre en la medida que el efecto de la pandemia puede tener repercusiones estructurales en la demanda y oferta de ciertos energéticos.

Varios analistas estiman una recuperación en la demanda de ciertos commodities en los próximos 5 años y se podrían retornar los niveles pre-Covid alrededor del periodo 2024-2025, sin embargo cada energético tiene su comportamiento particular y están ligados a las perspectivas de crecimiento macroeconómicas en el corto plazo, solo el tiempo determinará que cambios estructurales ha generado la pandemia y que otras se han transformado para hacer frente a este evento nunca antes visto en este siglo.

Para ello, este documento considera diversas fuentes de información de manera histórica y proyectada como Platt's, Argus y Wood Mackenzie. Por otra parte, la información y supuestos consideran al STEO–Short Term Energy Outlook- del Departamento de Energía de los Estados Unidos (EIA por sus siglas en inglés), donde se presentan las tendencias de los energéticos en el corto plazo. Para el largo plazo se incluye información proveniente de los diferentes estudios y análisis de WoodMackenzie y el AEO – Annual Energy Outlook 2021. Posteriormente, ajustada esta información a la actual regulación energética colombiana, se obtiene una estimación de precios nacionales que responden a las expectativas del mercado internacional.

2. UBICACIÓN DE TERMOELÉCTRICAS

El sistema eléctrico colombiano se ha caracterizado por contar con una amplia participación de centrales hidráulicas tanto en capacidad instalada como en generación, sin embargo, el parque generador térmico ha jugado un papel importante en momentos de baja disponibilidad de recurso hídrico, como ocurre en los eventos del Fenómeno del Niño.

Con la entrada en vigencia del cargo por confiabilidad, el país ha contado con energía firme respaldada tanto por unidades de generación hidráulica como de generación térmica que son puestas en funcionamiento por combustibles fósiles como el gas natural, carbón mineral y los derivados del petróleo.

En la Tabla 1, se listan las termoeléctricas en el país y el tipo de combustible que utilizan para su operación, adicionalmente, en la Figura 1, se puede visualizar la ubicación de éstas.

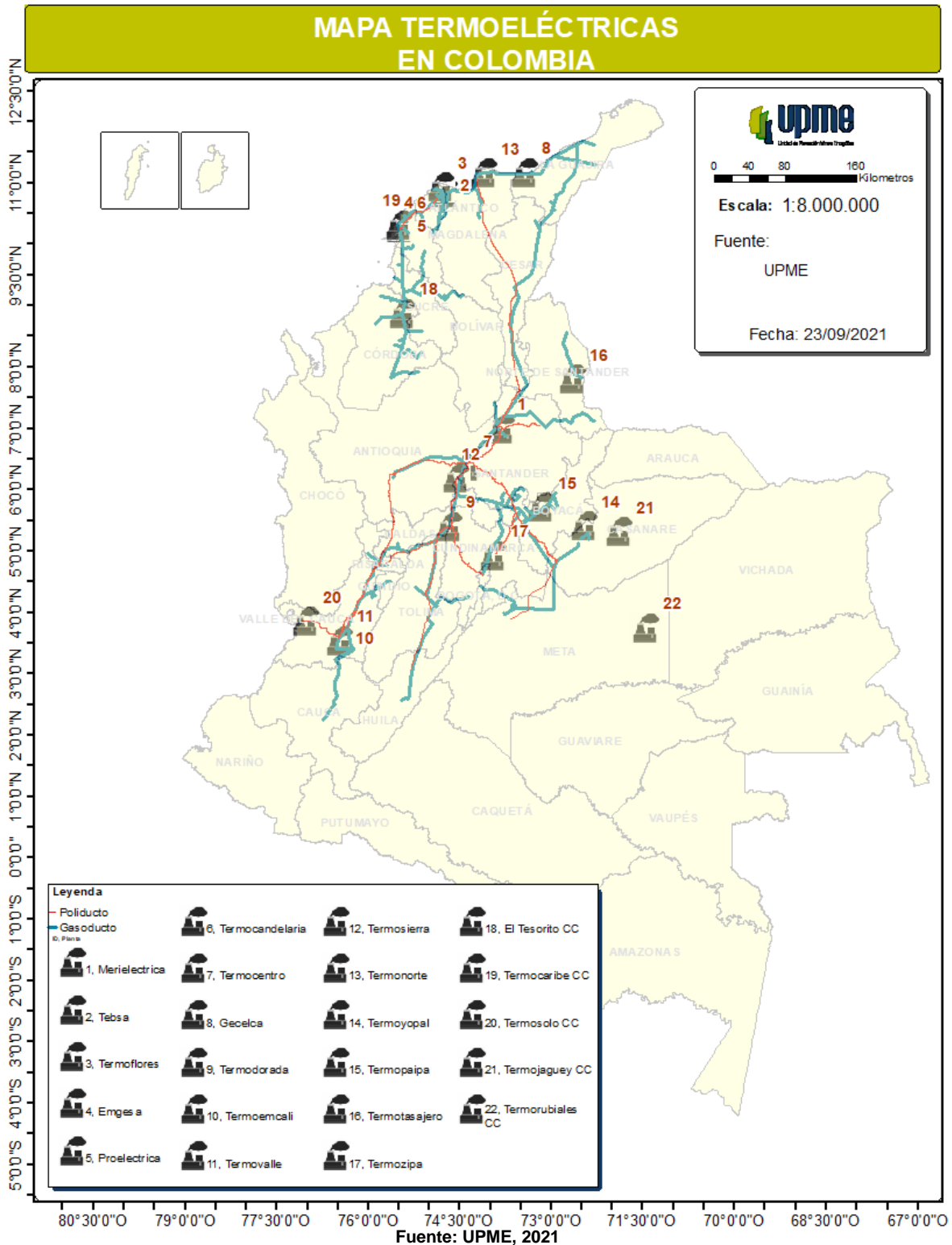
Tabla 1 Termoeléctricas en el territorio nacional

| Planta | Gas | Diesel | Carbón | Combustóleo | GLP | Crudo | jet/Queroseno |
|-------------------|-----|--------|--------|-------------|-----|-------|---------------|
| Merielectrica | | | | | | | |
| Tebsa | | | | | | | |
| Termoflores | | | | | | | |
| Emgesa | | | | | | | |
| Proelectrica | | | | | | | |
| Termocandelaria | | | | | | | |
| Termocentro | | | | | | | |
| Gecelca (Guajira) | | | | | | | |
| Termodorada | | | | | | | |
| Termoemcali | | | | | | | |
| Termovalle | | | | | | | |
| Termosierra | | | | | | | |
| Termonorte | | | | | | | |
| Termoyopal | | | | | | | |
| Termopaipa | | | | | | | |
| Termotasajero | | | | | | | |
| Termozipa | | | | | | | |
| El Tesorito CC* | | | | | | | |
| Termocaribe CC* | | | | | | | |
| Termosolo CC* | | | | | | | |
| Termojaguey CC* | | | | | | | |
| Termorubiales CC* | | | | | | | |

*Plantas respaldadas con cargo por confiabilidad que no operan actualmente.

Fuente: UPME, 2021

Figura 1 Mapa termoeléctricas

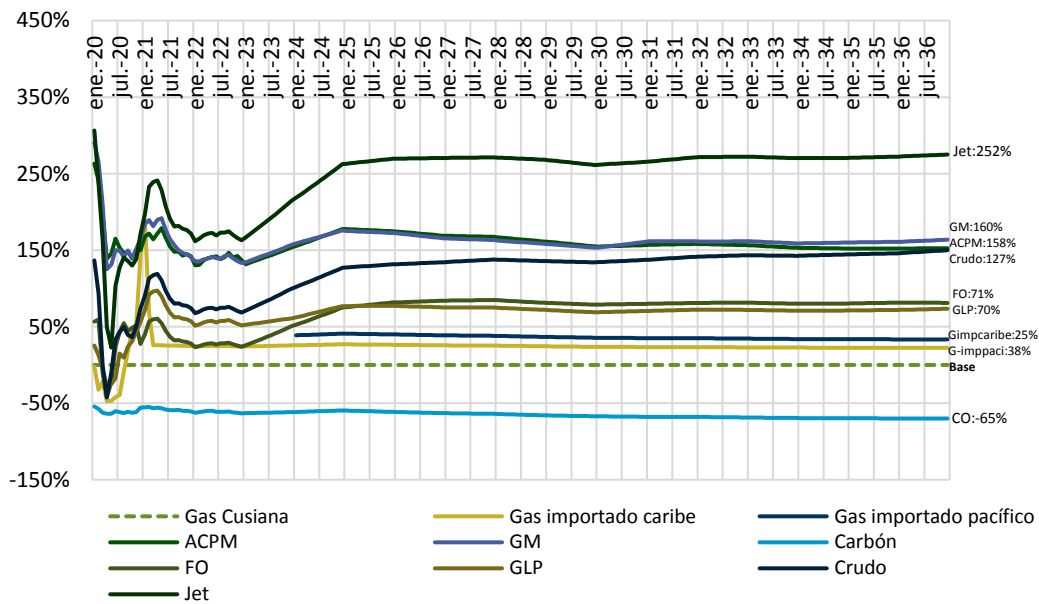


3. RESULTADOS PRINCIPALES

Como principal resultado de este ejercicio, se presenta el precio porcentual proyectado de los diferentes combustibles con respecto al precio proyectado del gas en Cusiana, esto permite tener una referencia de cuanto podría costar cada energético fósil en relación con una línea base, en este caso el precio del gas natural en el campo Cusiana. La presentación de los resultados en esta forma permite eliminar un poco la alta incertidumbre asociada al pronosticar un valor exacto para cada combustible.

En la Gráfica 1, los valores porcentuales que se presentan al final de cada serie son el promedio mensual desde enero de 2021 a diciembre de 2026 del precio pronosticado en relación con la línea base.

Gráfica 1 Precio relativo de combustibles fósiles en fuente de producción



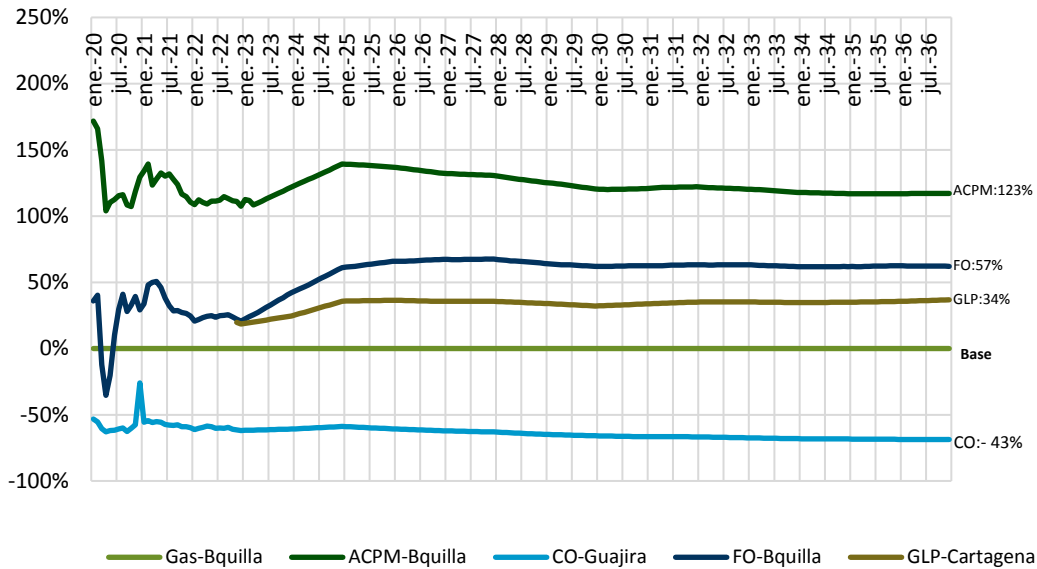
Fuente: UMPE, 2021

Este mismo análisis se realiza para los precios puestos en planta de generación, dependiendo de la región de Colombia la base de comparación varía: para la costa se toma como base el gas puesto en Barranquilla, para el interior se usa como base el gas puesto en Sebastopol y para el suroccidente se usa como base el gas puesto en el Valle.

En la Gráfica 2, Gráfica 3 y Gráfica 4, se presentan los resultados para cada región.

- Costa

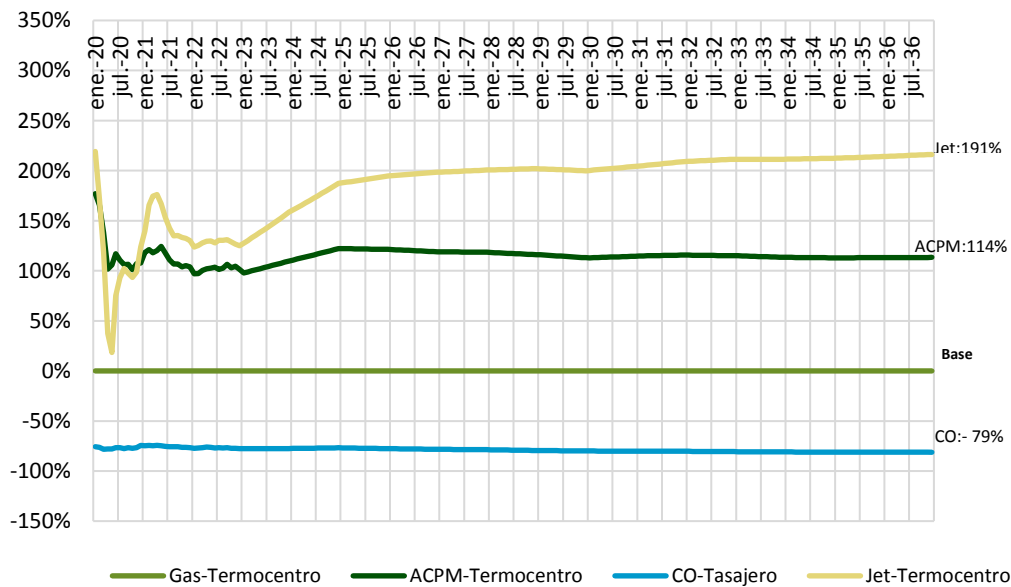
Gráfica 2. Precios relativos para generación en la Costa



Fuente: UMPE, 2021

- Interior

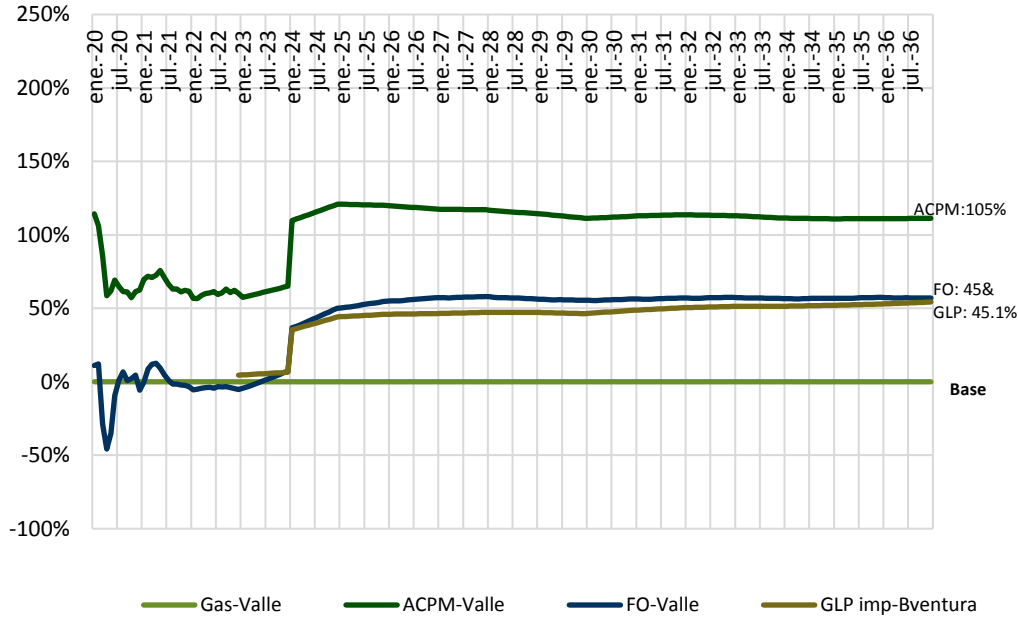
Gráfica 3. Precios relativos para generación en el interior



Fuente: UMPE, 2021

- **Suroccidente**

Gráfica 4. Precios relativos para generación en el suroccidente



Fuente: UMPE, 2021

A continuación, se presenta el procedimiento detallado para proyectar los precios en fuente de producción y en planta de generación por tipo de combustible.

4. PROYECCIÓN DE PRECIOS EN FUENTE DE PRODUCCIÓN

Las proyecciones de precios realizadas por la UPME para los principales combustibles fósiles están desarrolladas partiendo de las proyecciones de los marcadores internacionales publicadas por La Administración de Información Energética de EE.UU (EIA) (<https://www.eia.gov>) que pertenece al Departamento de Energía (DOE) (<https://www.energy.gov/>) de EE.UU. Entre las razones para usar las series de proyección realizadas por la EIA encontramos que es información pública y actualizada también por una entidad pública, es información que contiene series para los principales combustibles usados en Colombia para generación termoeléctrica (gas natural, diésel, carbón), el comportamiento del mercado de crudo y gas de Estados Unidos es determinante en los precios internacionales, al ser este país, uno de los principales productores y consumidores de estos dos energéticos y, adicionalmente, cuando Colombia debe importar gas natural o GLP usualmente lo realiza desde EE.UU influenciando de esta manera los precios en Colombia.

Las series proyectadas para cada marcador provienen de dos (2) documentos publicados por la EIA. El primero, denominado *Short-Term Energy Outlook* - STEO de marzo 2021, es

usado para proyectar el corto plazo (2021-2023) y el segundo, denominado *Annual Energy Outlook -AEO* de enero 2021 es usado para pronosticar el largo plazo (2024 – 2036).

Las consideraciones del STEO marzo 2021 son las siguientes¹:

La perspectiva de marzo está sujeta a niveles elevados de incertidumbre debido a que las respuestas al COVID-19 continúan evolucionando. La actividad económica reducida relacionada con la pandemia del COVID-19 ha causado cambios en la oferta y demanda de energía durante el año anterior y continuara afectando estos patrones en el futuro. El producto interno bruto (PIB) de EE.UU., disminuyó un 3.5% en 2020 con respecto a 2019, en este STEO se asume que el PIB de EE.UU. crece un 5.5% en 2021 y un 4.2% en 2022. Las principales consideraciones con respecto a los precios del crudo Brent y el gas natural Henry Hub que son los marcadores más importantes para las proyecciones realizadas son las siguientes:

- Crudo Brent.

La EIA espera que surjan presiones a la baja en los precios del crudo en los meses siguientes a marzo a medida que el mercado del petróleo se vuelva más equilibrado. Los precios del crudo Brent en el pronóstico promedian los 58 USD/bbl en la segunda mitad del 2021. Los pronósticos dependen en gran medida de las decisiones de producción futuras de la OPEP+, la capacidad de respuesta de la producción del “tight oil” a precios altos y el ritmo de crecimiento de la demanda de petróleo, se espera que los precios del Brent serán en promedio 59 USD/bbl en 2022.

- Gas Henry Hub

La EIA espera que los precios spot del Henry Hub sean en promedio de 3.14 USD/MBTU en 2021, se espera que el crecimiento continuo de las exportaciones de gas natural licuado GNL, junto con la producción relativamente plana contribuirá a un aumento de los precios hasta alcanzar 3.16 USD/MBTU en promedio en 2022.

En la Tabla 2, se indica para el corto plazo, la serie perteneciente al STEO que se asoció con cada energético usado en Colombia, es decir, se asume que cada marcador internacional determina la tasa de crecimiento de los combustibles nacionales.

Tabla 2 Marcador internacional asociado a proyecciones nacionales (Corto plazo)

| COMBUSTIBLE | MARCADOR INTERNACIONAL Corto plazo |
|----------------------|---|
| Crudo, GLP, Fuel Oil | Brent STEO |
| Diesel | Diesel fuel STEO |
| Gasolina | Gasoline STEO |
| Jet | Jet fuel STEO |
| Gas natural | Henry Hub STEO |
| Carbón | Coal STEO (power generation fuel costs) |

Fuente: UMPE, 2021

¹ Información extraída de la página web de la EIA, más detalles en <https://www.eia.gov/outlooks/steo/archives/mar21.pdf>

Para los pronósticos de largo plazo se generan tres (3) escenarios a partir de los diferentes escenarios construidos por la EIA y presentados en el AEO (*Side cases*). Factores como el crecimiento económico, los precios futuros del petróleo, el tamaño de los recursos energéticos y el cambio tecnológico a menudo son inciertos, para ilustrar algunas de estas incertidumbres la EIA ejecuta casos alternativos (*side cases*) para mostrar cómo responde el modelo a los cambios en las variables de entrada en comparación con el caso de referencia².

En esta oportunidad se seleccionaron los siguientes escenarios del AEO para construir los escenarios UPME.

- Escenario de precios base UPME: AEO Reference case³

El caso de referencia representa la mejor evaluación de la EIA de como operarán los mercados energéticos de EE.UU. y del mundo, basándose en supuestos claves con la intención de proporcionar una línea base para explorar tendencias a largo plazo. La proyección de este caso asume una mejora en las tecnologías de producción, suministro y consumo de energía conocidas. Se asume que las leyes y regulaciones actuales que afectan el sector energético, permanecen sin cambios durante el periodo de proyección.

- Escenario de precios alto UPME: AEO Low Oil & Gas Supply

En comparación con el escenario de referencia, en este se asume menores recursos y mayores costos de crudo y gas. Se asume una menor tasa de recobro mejorado de crudo y gas en comparación con el escenario base además de una menor tasa de mejora tecnológica en reducción de costos (-50%).

- Escenario de precios bajo UPME: AEO High Oil & Gas Supply

En comparación con el escenario de referencia, en este se reflejan menores costos y una mayor disponibilidad de petróleo y gas natural, lo que permite mayor producción a menores precios. Se asume una mayor tasa de recobro mejorado de crudo y gas en comparación con el escenario base además de una mayor tasa de mejora tecnológica en reducción de costos (+50%).

De igual forma, en la Tabla 3, se indican las series determinantes para cada combustible nacional, para un análisis a largo plazo.

Tabla 3 Marcador internacional asociado a proyecciones nacionales (Largo plazo)

| COMBUSTIBLE | MARCADOR INTERNACIONAL Largo plazo |
|-------------|---------------------------------------|
| Crudo | Brent AEO |
| Diesel | All Sectors Distillate fuel oil AEO |
| Gasolina | All Sectors Motor Gasoline AEO |
| Jet | All Sectors Jet fuel AEO |

² Información tomada de https://www.eia.gov/outlooks/aeo/assumptions/case_descriptions.php

³ Para mayor información se puede consultar <https://www.eia.gov/outlooks/aeo/narrative/introduction.php> y https://www.eia.gov/outlooks/aeo/assumptions/pdf/case_descriptions_2021.pdf

| COMBUSTIBLE | MARCADOR INTERNACIONAL Largo plazo |
|-------------|---------------------------------------|
| GLP | All Sectors Propane fuel AEO |
| Fuel Oil | Electric Power Residual Fuel Oil AEO |
| Gas natural | Henry Hub AEO |
| Carbón | Electric power Steam Coal AEO |

Fuente: UMPE, 2021

A continuación, se detalla la forma de proyección de cada energético en cada fuente de producción o su Ingreso al Productor (IP), según corresponda. Las proyecciones se realizan a partir de enero de 2021 y en precios constantes de diciembre de 2020. *En el anexo A, se presentan los escenarios alto y bajo para cada combustible y en cada fuente.*

4.1 Gas natural

De manera general, los precios nacionales para el corto plazo se proyectan siguiendo la tendencia de crecimiento mensual del Henry Hub, para el largo plazo la tendencia anual del Henry Hub se mensualiza con la ecuación 3. Para el gas importado asumimos las mismas tendencias, sin embargo, el punto de partida se calcula como el promedio de los precios FOB de compra de gas importado de los países suramericanos, adicionalmente se le agrega un transporte marítimo hasta los puertos colombianos y un valor de regasificación.

Para los precios de las fuentes de producción nacionales y de importación se usan entonces las siguientes fórmulas:

Corto plazo:

$$G_{nacional(m)} = G_{nacional(m-1)} * TVP_{HH-STE0(m)} \quad (1)$$

$$G_{importado(m)} = Promedio\ FOB_{(m-1)} * TVP_{HH-STE0(m)} + Tm + Rg \quad (2)$$

Largo plazo:

$$TVP_{HH-STE0(m)} = TVP_{HH-AEO(a)}^{\left(\frac{1}{12}\right)} \quad (3)$$

Donde:

$G_{nacional(m)}$ = Precio en USD/MBTU a diciembre 2020 de las fuentes de producción de gas nacional (Cusiana/Cupiagua, Guajira, Campos del VIM) para el mes m.

$TVP_{HH-STE0(m)}$ = Tasa de variación periódica del indicador Henry Hub presentado en el STEO del mes m-1 al mes m.

$G_{importado(m)}$ = Precio en USD/MBTU a diciembre 2020 de las fuentes de producto importado (Cartagena, Buenaventura) para el mes m.

$Promedio\ FOB_{(m-1)}$: Promedio de precio de compra FOB de GNL desde los países Brasil, Chile, Argentina, México obtenido de ArgusMedia⁴ en el mes m-1.

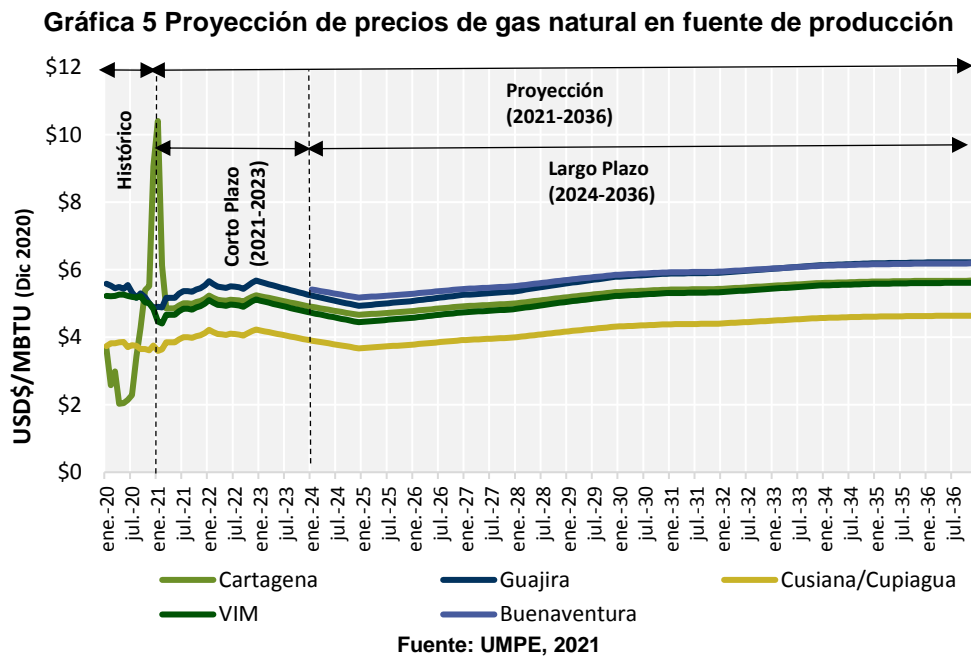
Tm = Tarifa de transporte marítima desde la Costa del Golfo a Cartagena (0.402 USD/MBTU) o desde la Costa del Golfo a Buenaventura (0.914 USD/MBTU incluyendo paso por canal) a diciembre de 2020.

⁴ Argus LNG Daily, precio en terminales Pecem, Quintero, Escobar y Manzanillo

R_g = Tarifa de regasificación estimada en 0.4 USD/MBTU.

$TVP_{HH-AEO(a)}^{(\frac{1}{12})}$ = Tasa de variación periódica del indicador Henry Hub presentado en el AEO del año a-1 al año a, de acuerdo al escenario seleccionado.

En la Gráfica 5 se presentan los resultados obtenidos para el escenario base.



4.2 Crudo

Los precios de crudo en Colombia se proyectan siguiendo la tendencia de crecimiento mensual del crudo Brent y aplicando un castigo por la calidad del crudo en comparación con el crudo Brent para el valor de partida de diciembre de 2020, las ecuaciones utilizadas para proyectar los precios de crudo en fuente de producción son las siguientes.

Corto plazo:

$$IP_{crudo(m)} = IP_{crudo(m-1)} * TVP_{Brent-STE0(m)} \quad (4)$$

Largo plazo:

$$TVP_{Brent-AEO(m)} = TVP_{Brent-AEO(a)}^{(\frac{1}{12})} \quad (5)$$

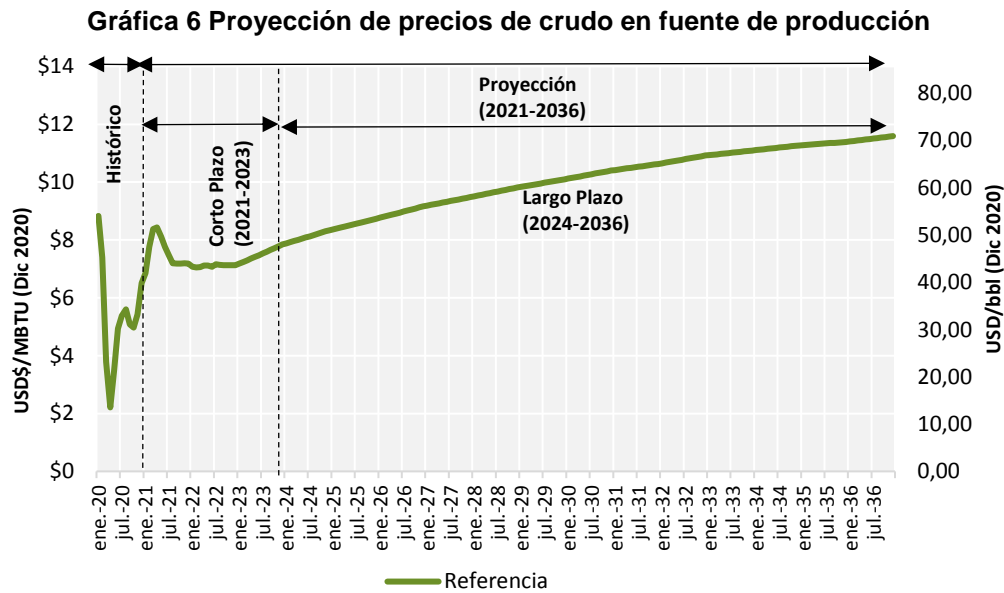
Donde:

$IP_{crudo(m)}$ = Precio en USD/MBTU a diciembre 2020 del crudo de producción nacional para el mes m.

$TVP_{Brent-STE0(m)}$ = Tasa de variación periódica del indicador Brent presentado en el STEO del mes m-1 al mes m.

$TVP_{Brent-AEO(a)}^{(\frac{1}{12})}$ = Tasa de variación periódica del indicador Brent presentado en el AEO del año a-1 al año a, de acuerdo con el escenario seleccionado.

En la Gráfica 6, se presentan los resultados obtenidos en el escenario base.



Fuente: UMPE, 2021

4.3 Diesel

Para proyectar el ingreso al productor del Diesel en Colombia se tuvo en cuenta la tendencia del Diesel fuel proyectado por la EIA, adicionalmente el crecimiento del IP se acotó a $\pm 2.8\%$ cuando el valor mensualizado de la pendiente de la regresión lineal del logaritmo natural del IP de los últimos 60 días, calculado preliminarmente solo con la tendencia del EIA, es mayor a 2.8% o menor a -2.8% según lo indicado en la Resolución del MinEnergía 181491 del 2012.

Corto plazo:

$$IP_{diesel(m)} = IP_{diesel(m-1)} * TVP_{Diesel\ fuel-STE0(m)} \quad (6)$$

Largo plazo:

$$TVP_{Diesel\ fuel-AEO(m)} = TVP_{Diesel\ fuel-AEO(a)}^{\left(\frac{1}{12}\right)} \quad (7)$$

Donde:

$IP_{diesel(m)}$ = Precio en USD/MBTU a diciembre 2020 del diesel de producción nacional para el mes m, con crecimiento *acotado entre +2.8% y -2.8%*.

$TVP_{Diesel\ fuel-STE0(m)}$ = Tasa de variación periódica del indicador Diesel fuel presentado en el STEO del mes m-1 al mes m.

$TVP_{Diesel\ fuel-AEO(a)}^{\left(\frac{1}{12}\right)}$ = Tasa de variación periódica del indicador All sectors Distillate Fuel oil presentado en el AEO del año a-1 al año a, de acuerdo con el escenario seleccionado.

Teniendo la proyección de precios de Diésel en fuente de producción se realiza el cálculo de precios en estaciones de servicio de la ciudad de Bogotá teniendo en cuenta los diferentes impuestos, los márgenes de los distribuidores y los costos de transporte. La fórmula utilizada fue la siguiente.

$$P_{diesel-eds(m)} = (IP_{diesel(m)}(1 + IVA_{IP}) + I_{nacional} + I_{carbono} + T_{mar} + T_{ductos} + MPC + MM(1 + IVA_{may}) + ST + Mm + T_{eds})(1 + 6.5\%) \quad (8)$$

Donde:

$P_{diesel-eds(m)}$ = Precio del diesel para venta a usuarios finales en estaciones de servicio en USD/MBTU en la ciudad de Bogotá usando la equivalencia de 0.1317 MBTU/galón.

$IP_{diesel(m)}$ = Ingreso al productor calculado de acuerdo con las ecuaciones 6 y 7.

IVA_{IP} = Impuesto al valor agregado correspondiente al 5%.

$I_{nacional}$ = Impuesto nacional, correspondiente a 522.84 COP/galón.

$I_{carbono}$ = Impuesto al carbono, correspondiente a 176.41 COP/galón.

T_{mar} = Tarifa de marcación correspondiente 8.14 COP/galón.

T_{ductos} = Transporte por ductos correspondiente a 419 COP/galón.

MPC = Margen plan de continuidad correspondiente a 71.51 COP/galón, este valor es equivalente a 0 a partir de abril de 2021.

MM = Margen del mayorista correspondiente 413.7 COP/galón.

IVA_{may} = Impuesto al valor agregado del 19%.

ST = Sobretasa correspondiente a 301.48 COP/galón.

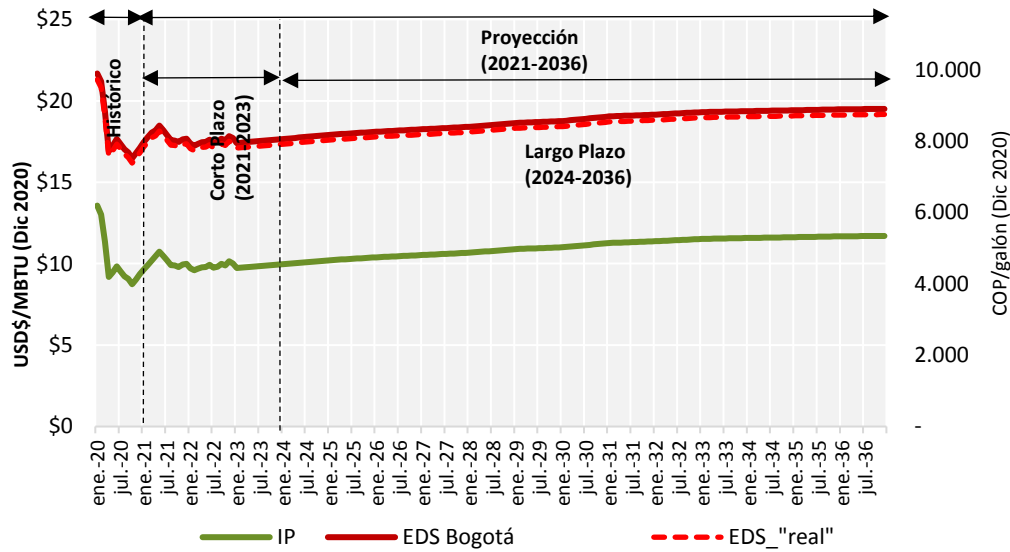
Mm = Margen del minorista equivalente a 787.47 COP/galón.

T_{eds} = Transporte desde planta de abasto a estaciones de servicio correspondiente a 63.84 COP/galón.

En la fórmula 8 el 6.5% del paréntesis final equivale a un porcentaje que se aumenta el IP por incluir una mezcla de 10% de biocombustibles.

En la Gráfica 7, se presentan los resultados obtenidos. Para estimar un precio “real” del diésel en estaciones de servicio se compararon los valores reales en estaciones de la ciudad de Bogotá en el año 2019 con los precios de referencia del mismo año, encontrándose que el diésel en estaciones se vende aproximadamente un 1.74% por debajo del precio de referencia.

Gráfica 7 Proyección de precios de Diesel en fuente de producción y en EDS



Fuente: UMPE, 2021

4.4 Gasolina

Para proyectar el ingreso al productor de la Gasolina corriente en Colombia se tuvo en cuenta la tendencia del indicador Gasoline proyectado por la EIA, en este caso el crecimiento del IP se acotó a $\pm 3.0\%$ cuando el valor mensualizado de la pendiente de la regresión lineal del logaritmo natural del IP de los últimos 60 días, calculado preliminarmente solo con la tendencia del EIA, es mayor a 3% o menor a -3% según lo indicado en la Resolución del MinEnergía 181602 del 2011.

Corto plazo:

$$IP_{gm(m)} = IP_{gm(m-1)} * TVP_{Gasoline-STE0(m)} \quad (9)$$

Largo plazo:

$$TVP_{Gasoline-AEO(m)} = TVP_{Gasoline-AEO(a)}^{\left(\frac{1}{12}\right)} \quad (10)$$

Donde:

$IP_{gm(m)}$ = Precio en USD/MBTU a diciembre 2020 de la gasolina corriente de producción nacional para el mes m, con crecimiento *acotado entre +3% y -3%*.

$TVP_{Gasoline-STE0(m)}$ = Tasa de variación periódica del indicador Gasoline presentado en el STEO del mes m-1 al mes m.

$TVP_{Gasoline-AEO(a)}^{\left(\frac{1}{12}\right)}$ = Tasa de variación periódica del indicador All Sectors Motor Gasoline presentado en el AEO del año a-1 al año a, de acuerdo con el escenario seleccionado.

Una vez obtenida la proyección de precios de la gasolina en fuente de producción, se realiza el cálculo de precios en estaciones de servicio de la ciudad de Bogotá teniendo en cuenta

los diferentes impuestos, los márgenes de los distribuidores y los costos de transporte similar al procedimiento realizado con el precio del Diesel. La fórmula utilizada fue la siguiente.

$$P_{gm-eds(m)} = (IP_{gm(m)}(1 + IVA_{IP}) + I_{nacional} + I_{carbono} + T_{mar} + T_{ductos} + MPC + MM(1 + IVA_{may}) + ST + Mm + P_e + T_{eds})(1 + 1.10\%) \quad (11)$$

Donde:

$P_{gm-eds(m)}$ = Precio de la gasolina para venta a usuarios finales en estaciones de servicio en USD/MBTU en la ciudad de Bogotá usando la equivalencia de 0.117943 MBTU/galón.

$IP_{gm(m)}$ = Ingreso al productor de gasolina calculado de acuerdo con las ecuaciones 9 y 10.

IVA_{IP} = Impuesto al valor agregado correspondiente al 5%.

$I_{nacional}$ = Impuesto nacional, correspondiente a 546.26 COP/galón.

$I_{carbono}$ = Impuesto al carbono, correspondiente a 156.68 COP/galón.

T_{mar} = Tarifa de marcación correspondiente 8.14 COP/galón.

T_{ductos} = Transporte por ductos correspondiente a 419 COP/galón.

MPC = Margen plan de continuidad correspondiente a 71.51 COP/galón, este valor es equivalente a 0 a partir de abril de 2021.

MM = Margen del mayorista correspondiente 413.7 COP/galón.

IVA_{may} = Impuesto al valor agregado del 19%.

ST = Sobretasa correspondiente a 1,269.69 COP/galón.

Mm = Margen del minorista equivalente a 787.42 COP/galón.

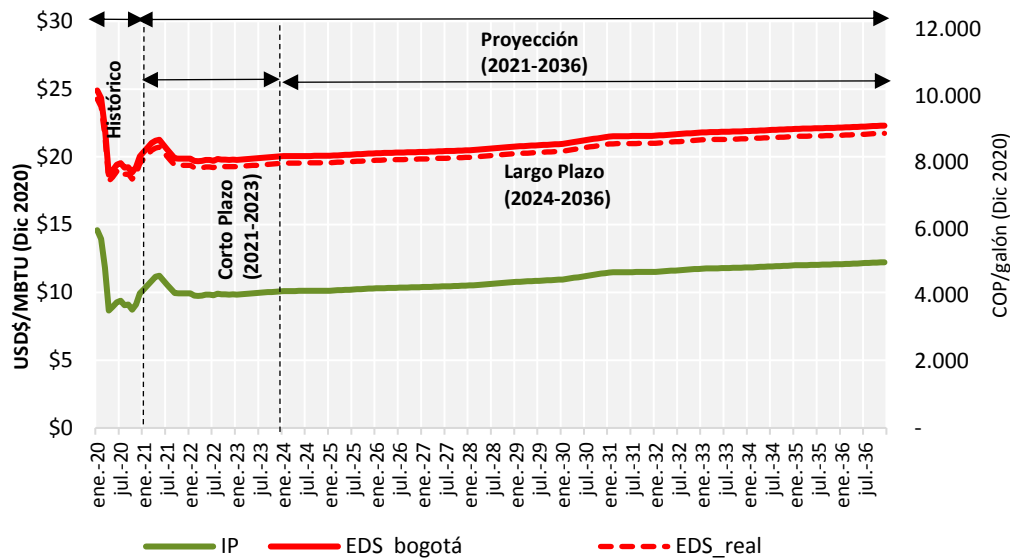
P_e = Costo por pérdidas por evaporación correspondientes a 28.88 COP/galón.

T_{eds} = Transporte desde planta de abasto a estaciones de servicio correspondiente a 63.84 COP/galón.

En la fórmula 11 el 1.10% del paréntesis final equivale a un porcentaje que se aumenta el IP por incluir una mezcla de alcohol carburante del 10%.

En la Gráfica 8 se presentan los resultados obtenidos. Para estimar un precio “real” de la gasolina corriente en estaciones de servicio se compararon los valores reales en estaciones de la ciudad de Bogotá en el año 2019 con los precios de referencia del mismo año, encontrándose que la gasolina en estaciones se vende aproximadamente un 2.66% por debajo del precio de referencia.

Gráfica 8 Proyección de precios de gasolina motor en fuente de producción y en EDS



Fuente: UMPE, 2021

4.5 Jet Fuel

Para proyectar los precios del ingreso al productor del Jet Fuel se tuvieron en cuenta las siguientes fórmulas:

Corto plazo:

$$IP_{jet(m)} = IP_{jet(m-1)} * TVP_{jet\ fuel-STE0(m)} \quad (12)$$

Largo plazo:

$$TVP_{jet\ fuel-AEO(m)} = TVP_{jet\ fuel-AEO(a)}^{\left(\frac{1}{12}\right)} \quad (13)$$

Donde:

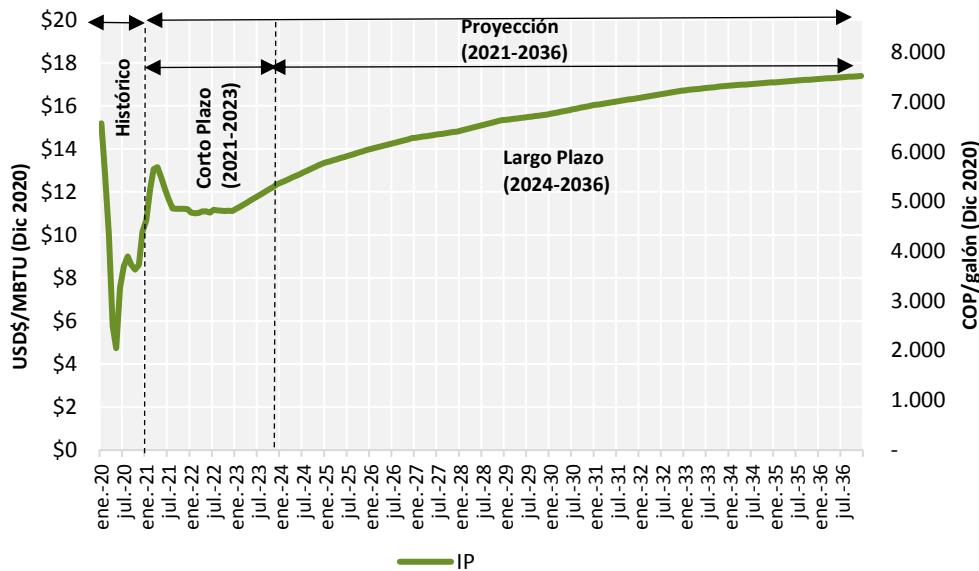
$IP_{jet(m)}$ = Precio en USD/MBTU a diciembre 2020 del combustible Jet A1 de producción nacional para el mes m.

$TVP_{jet\ fuel-STE0(m)}$ = Tasa de variación periódica del indicador Jet fuel presentado en el STEO del mes m-1 al mes m.

$TVP_{jet\ fuel-AEO(a)}^{\left(\frac{1}{12}\right)}$ = Tasa de variación periódica del indicador All Sectors Jet Fuel presentado en el AEO del año a-1 al año a, de acuerdo con el escenario seleccionado.

En la Gráfica 9 se presentan los resultados obtenidos.

Gráfica 9 Proyección de precios de Jet en fuente de producción



Fuente: UMPE, 2021

4.6 Combustóleo

Para proyectar los precios del ingreso al productor del combustóleo se tuvieron en cuenta las siguientes fórmulas:

Corto plazo:

$$IP_{fo(m)} = IP_{fo(m-1)} * TVP_{brent-STE0(m)} \quad (14)$$

Largo plazo:

$$TVP_{fo-AEO(m)} = TVP_{fuel\ oil-AEO(a)}^{\left(\frac{1}{12}\right)} \quad (15)$$

Donde:

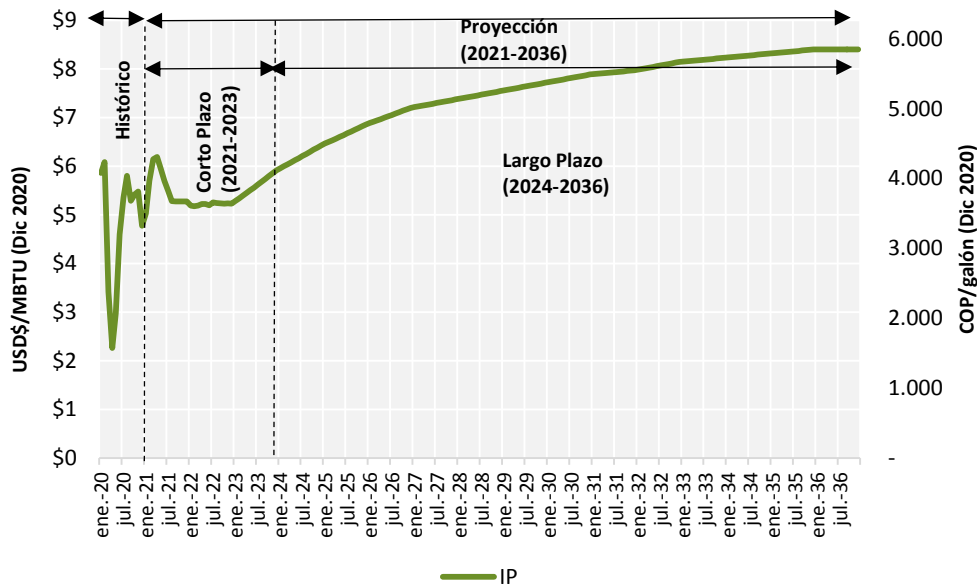
$IP_{fo(m)}$ = Precio en USD/MBTU a diciembre 2020 del combustóleo de producción nacional para el mes m.

$TVP_{brent-STE0(m)}$ = Tasa de variación periódica del indicador Brent presentado en el STEO del mes m-1 al mes m.

$TVP_{fuel\ oil-AEO(a)}^{\left(\frac{1}{12}\right)}$ = Tasa de variación periódica del indicador Electric Power Residual Fuel Oil presentado en el AEO del año a-1 al año a, de acuerdo con el escenario seleccionado.

En la Gráfica 10 se presentan los resultados.

Gráfica 10 Proyección de precios de combustóleo en fuente de producción



Fuente: UMPE, 2021

4.7 GLP

La proyección de precios de GLP se realizó para las principales fuentes de producción, es decir refinería de Cartagena, campo de gas Cusiana y refinería de Barrancabermeja. Las fórmulas usadas son las siguientes.

Corto plazo:

$$G_{glp(m)} = G_{glp(m-1)} * TVP_{Brent-STE0(m)} \quad (16)$$

$$G_{glp-importado(m)} = G_{glpMB(m-1)} * TVP_{Brent-STE0(m)} + T_m \quad (17)$$

Largo plazo:

$$TVP_{Brent-STE0(m)} = TVP_{propane-AEO(a)}^{\left(\frac{1}{12}\right)} \quad (18)$$

Donde:

$G_{glp(m)}$ = Precio en USD/MBTU a diciembre 2020 de las fuentes de producción de GLP nacional para el mes m.

$TVP_{Brent-STE0(m)}$ = Tasa de variación periódica del indicador Brent presentado en el STEO del mes m-1 al mes m.

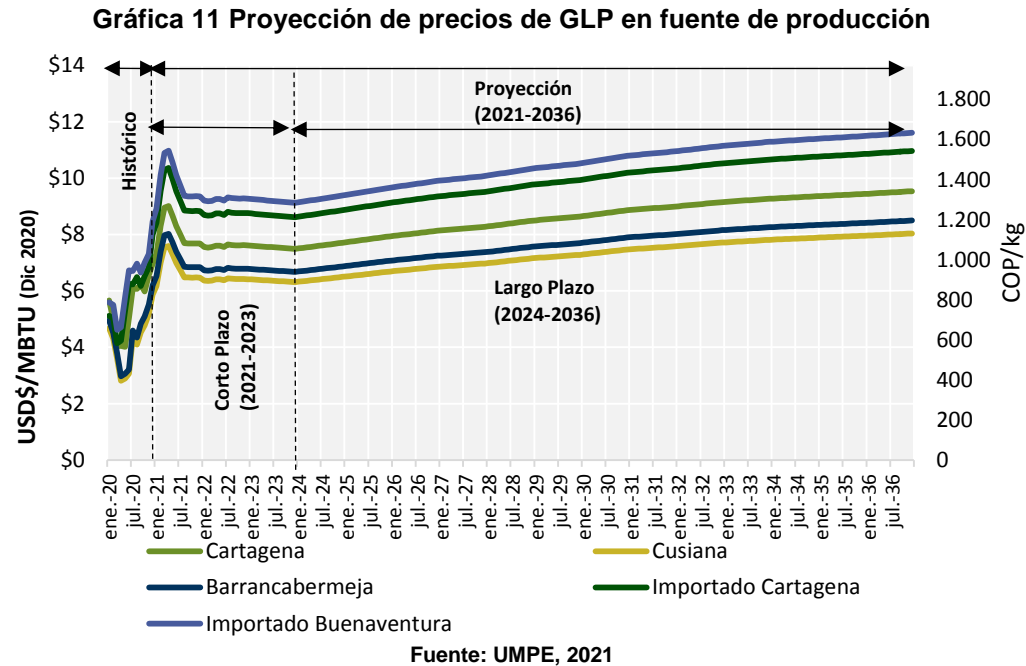
$G_{glp-importado(m)}$ = Precio en USD/MBTU a diciembre 2020 de las fuentes de producto importado (Cartagena, Buenaventura) para el mes m.

$G_{glpMB(m-1)}$ = Precio del GLP en el mercado de Mont Belvieu obtenido de Platts.

T_m = Tarifa de transporte marítima de GLP desde Estados Unidos a Cartagena (0.29 USD/MBTU) o desde Estados Unidos a Buenaventura (0.76 USD/MBTU incluyendo paso por canal) a diciembre de 2020.

$TVP_{propane-AEO(a)}^{(\frac{1}{12})}$ = Tasa de variación periódica del indicador All Sectors Propane fuel presentado en el AEO del año a-1 al año a, de acuerdo con el escenario seleccionado.

En la Gráfica 11 se presentan los resultados.



4.8 Carbón

Los precios en fuente de producción de carbón se proyectan teniendo en cuenta la tendencia del marcador internacional Coal del STEO, para obtener los precios de carbón históricos en fuente se promedió el precio al cual compraron las diferentes plantas termoeléctricas que usan carbón para generar energía en Colombia. La fórmula usada fue la siguiente.

Corto plazo:

$$IP_{carbón(m)} = IP_{carbón(m-1)} * TVP_{Coal-STE0(m)} \quad (19)$$

Largo plazo:

$$TVP_{Coal-STE0(m)} = TVP_{propane-Coal(a)}^{(\frac{1}{12})} \quad (20)$$

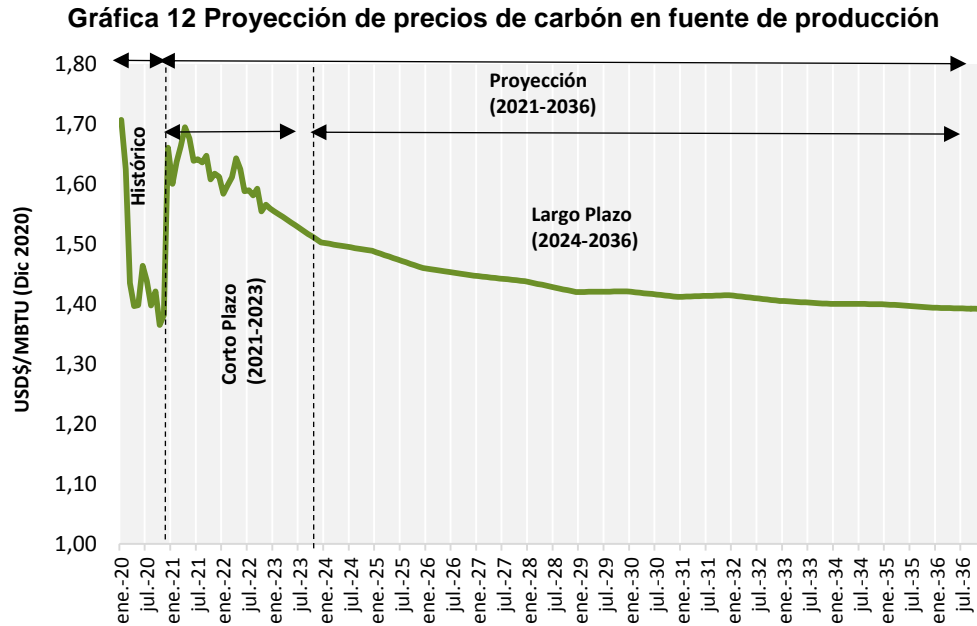
Donde:

$IP_{carbón(m)}$ = Precio en USD/MBTU a diciembre 2020 de las fuentes de producción de carbón nacional para el mes m.

$TVP_{Coal-STE0(m)}$ = Tasa de variación periódica del indicador Coal presentado en el STEO del mes m-1 al mes m.

$TVP_{Coal-AEO(a)}^{(\frac{1}{12})}$ = Tasa de variación periódica del indicador Electric Power Steam Coal presentado en el AEO del año a-1 al año a, de acuerdo con el escenario seleccionado.

En la Gráfica 12, se presentan los resultados.



Fuente: UMPE, 2021

5 PROYECCIÓN DE PRECIOS DE LOS ENERGÉTICOS PARA GENERACIÓN

A continuación, se presenta la proyección de precios para generación en cada una de las plantas termoeléctricas en su escenario base, en el **Anexo B se presentan los escenarios alto y bajo de cada planta**.

5.1 Gas natural

Una vez teniendo el precio del gas en boca de pozo proyectado, se realiza la proyección en cada una de las plantas termoeléctricas que se tiene o ha tenido registro de que pueden usar gas natural para generar energía eléctrica. La ecuación utilizada es la siguiente:

$$P_{gp_m} = G_{(m)} + T_g \quad (21)$$

Donde:

P_{gp_m} : Precio del gas natural en planta de generación en USD/MBTU a diciembre de 2020 en el mes m .

$G_{(m)}$: Precio del gas natural en fuente nacional o importado en el mes m , según lo descrito en las ecuaciones 1 y 2.

T_g : Tarifas de transporte mensual calculadas con una pareja 50% fijo y 50% variable y según la Resolución CREG 126 de 2010 en USD/MBTU.

En la Tabla 4, se indica la fuente usada y la tarifa de transporte calculada para cada una de las plantas termoeléctricas.

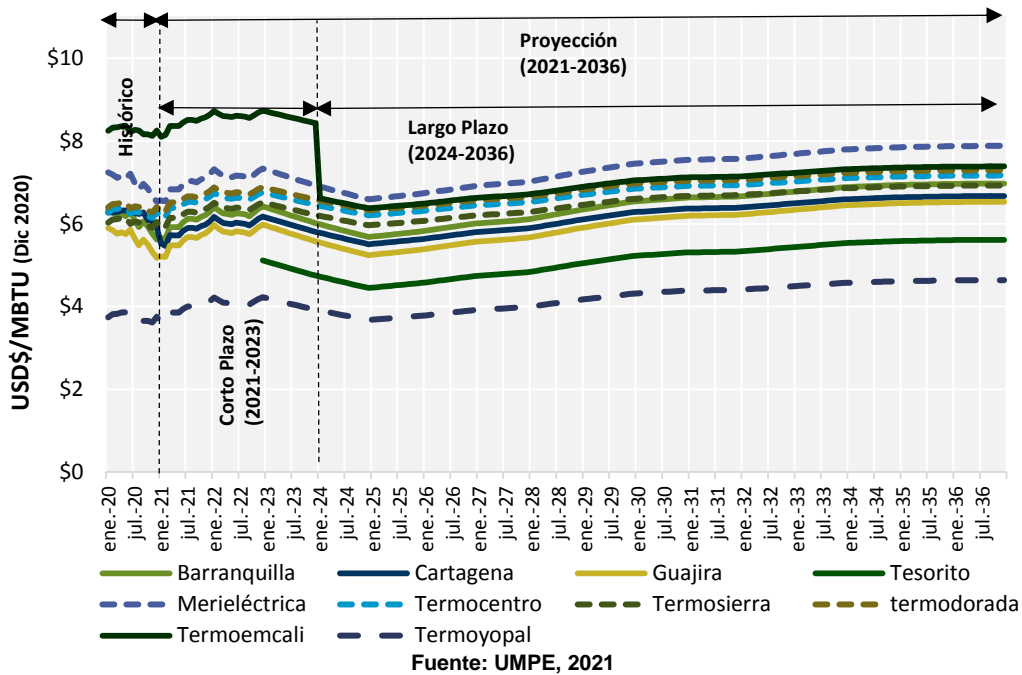
Tabla 4 Tarifas de transporte de gas

| Planta térmica | Fuente gas | Tarifa transporte USD/MBTU |
|--------------------------|------------------------|----------------------------|
| Térmicas Guajira | Guajira | 0.3102 |
| Térmicas Barranquilla | Guajira | 0.7506 |
| Térmicas Cartagena | VIM | 1.058 |
| Tesorito | VIM | 0 |
| Merieléctrica | Guajira | 1.6621 |
| Termocentro | Cusiana/Cupiagua | 2.5325 |
| Termosierra | Cusiana/Cupiagua | 2.2892 |
| Termoyopal | Cusiana/Cupiagua | 0 |
| Termodorada | Cusiana/Cupiagua | 2.6593 |
| Termovalle | Cusiana/Cupiagua | 4.6479 |
| Termovalle (desde 2024) | Buenaventura importado | 1.340 |
| Termoemcali | Cusiana/Cupiagua | 4.5085 |
| Termoemcali (desde 2024) | Buenaventura Importado | 1.2 |

Fuente: UMPE, 2021

En la Gráfica 13, se presentan los resultados obtenidos para el escenario base en plantas de generación.

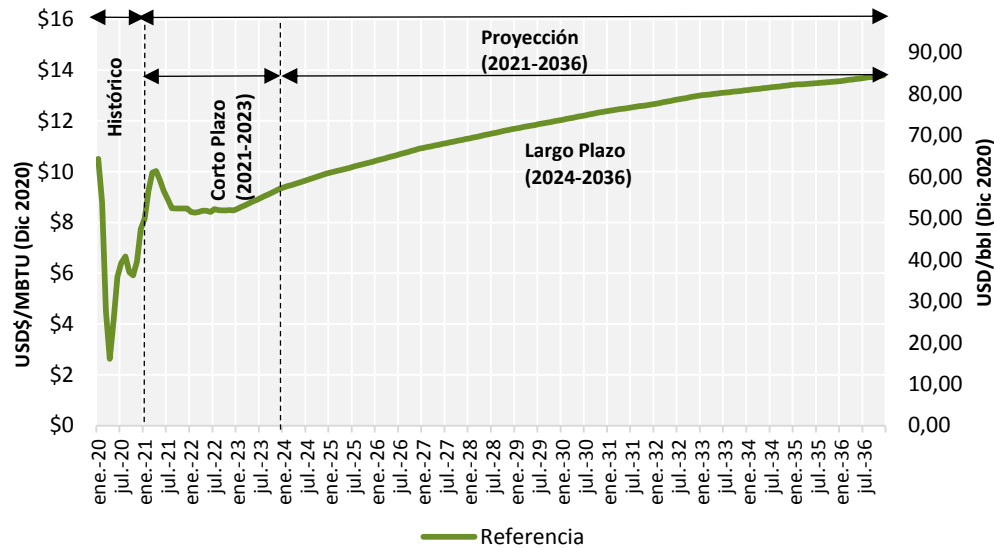
Gráfica 13 Proyección de precios de gas en plantas termoeléctricas



5.2 Crudo

Una vez se tiene la proyección de precio de crudo en fuente de producción se le añade un 19% correspondiente al IVA y 1 USD/bbl (promedio transporte llanos) para calcular un precio proyectado de venta para mayoristas. Este precio se asume para las termoeléctricas de Termo Jagüey y Termo Rubiales, las cuales se encuentran respaldadas por cargo con confiabilidad de acuerdo con información de XM y se espera que entren en operación en diciembre de 2021. Ver Gráfica 14.

Gráfica 14 Proyección de precios de crudo en plantas termoeléctricas



Fuente: UMPE, 2021

5.3 Diesel

Para calcular el precio proyectado del diésel para las plantas de generación se usa el valor obtenido a través de las fórmulas 6 y 7 y se le añaden todos los elementos necesarios hasta llegar a planta del mayorista que es donde adquiere el producto el gran consumidor para generar energía. La fórmula utilizada es la siguiente:

$$P_{diesel-planta(m)} = IP_{diesel(m)}(1 + IVA_{IP}) + I_{nacional} + I_{carbono} + T_{mar} + T_{ductos} + MPC + MM(1 + IVA_{may}) \quad (22)$$

Donde:

$P_{diesel-planta(m)}$ = Precio del diesel para generación en plantas termoeléctricas en USD/MBTU usando la equivalencia de 0.1317 MBTU/galón.

$IP_{diesel(m)}$ = Ingreso al productor calculado de acuerdo con las ecuaciones 6 y 7.

IVA_{IP} = Impuesto al valor agregado correspondiente al 5%.

$I_{nacional}$ = Impuesto nacional, correspondiente a 522.84 COP/galón.

$I_{carbono}$ = Impuesto al carbono, correspondiente a 176.41 COP/galón.

T_{mar} = Tarifa de marcación correspondiente 8.14 COP/galón.

T_{ductos} = Transporte por ductos correspondiente que depende de la ubicación de la planta como se detalla en la Tabla 5.

Tabla 5 Tarifa de transporte de diésel

| Planta | Tarifa de transporte COP/galón |
|------------------------|--------------------------------|
| Termoflóres | 125.57 |
| Termosierra | 368.2 |
| Termodorada | 266.26 |
| Termocandelaria | 85.71 |
| Termocentro | 193.48 |
| Termovalle/Termoemcali | 470.07 |
| Termonorte | 125.57 |

Fuente: UMPE, 2021

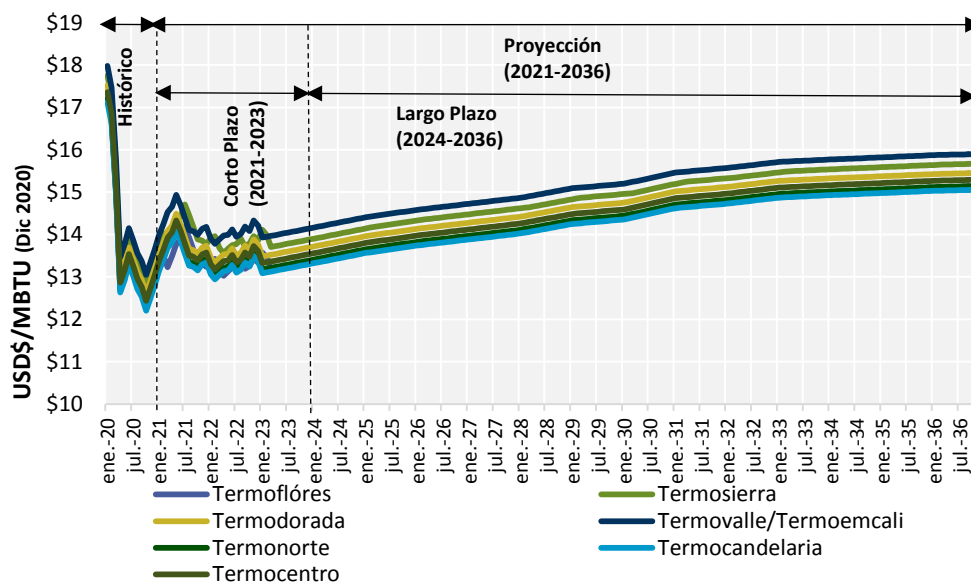
MPC = Margen plan de continuidad correspondiente a 71.51 COP/galón, este valor es equivalente a 0 a partir de abril de 2021.

MM = Margen del mayorista correspondiente 413.7 COP/galón.

IVA_{may} = Impuesto al valor agregado del 19%.

En la Gráfica 15 se presentan los resultados.

Gráfica 15 Proyección de precios de Diesel en plantas termoeléctricas



Fuente: UMPE, 2021

5.4 Jet Fuel

Se tiene registro de que las plantas de Termocentro y Termodorada podrían generar con Jet/Queroseno, por esta razón se realiza una aproximación al precio de generación con Jet en estas plantas, para lo cual se usa la siguiente fórmula:

$$P_{jet-planta(m)} = IP_{jet(m)}(1 + IVA_{IP}) + I_{carbono} + T_{ductos} + MM(1 + IVA_{may}) \quad (23)$$

Donde:

$P_{jet-planta(m)}$ = Precio del jet para generación en plantas termoeléctricas en USD/MBTU usando la equivalencia de 0.125208 MBTU/galón.

$IP_{jet(m)}$ = Ingreso al productor calculado de acuerdo con las ecuaciones 12 y 13.

IVA_{IP} = Impuesto al valor agregado correspondiente al 19%.

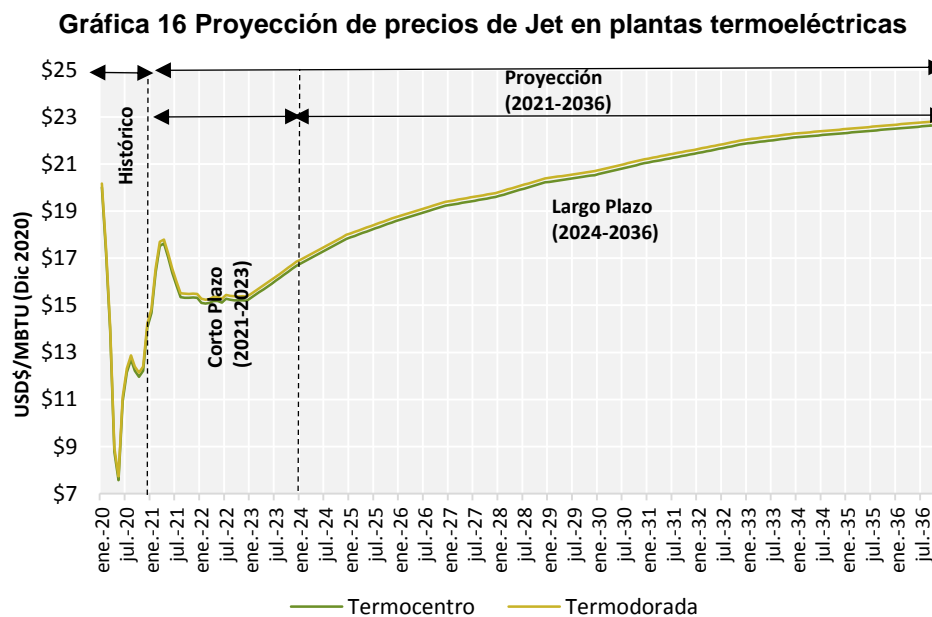
$I_{carbono}$ = Impuesto al carbono, correspondiente a 170 COP/galón.

T_{ductos} = Transporte por ductos correspondiente que depende de la ubicación de la planta, para Termocentro es equivalente a 193.48 COP/galón, y para Termodorada es equivalente a 266.26 COP/galón.

MM = Margen del mayorista correspondiente 413.7 COP/galón.

IVA_{may} = Impuesto al valor agregado del 19%.

En la Gráfica 16, se presentan los resultados.



5.5 Combustóleo

Para estimar el precio del combustóleo en plantas de generación se hace uso del IP proyectado anteriormente y se adicionan los costos asociados a impuestos, márgenes y transporte, según lo indica la siguiente fórmula.

$$P_{fo-planta(m)} = IP_{fo(m)}(1 + IVA_{IP}) + I_{carbono} + T_{ductos} + MM(1 + IVA_{may}) \quad (24)$$

Donde:

$P_{fo-planta(m)}$ = Precio del combustóleo para generación en plantas termoeléctricas en USD/MBTU usando la equivalencia de 0.125208 MBTU/galón.

$IP_{fo(m)}$ = Ingreso al productor calculado de acuerdo con las ecuaciones 14 y 15.

IVA_{IP} = Impuesto al valor agregado correspondiente al 19%.

$I_{carbono}$ = Impuesto al carbono, correspondiente a 203 COP/galón.

T_{ductos} = Transporte por ductos correspondiente que depende de la ubicación de la planta de acuerdo con la Tabla 6.

Tabla 6 Tarifa de transporte de combustóleo

| Planta | Tarifa de transporte COP/galón |
|-----------------------|--------------------------------|
| Termoemcali | 470.01 |
| Termocandelaria | 85.7 |
| Térmicas barranquilla | 125.57 |
| Termonorte | 125.57 |

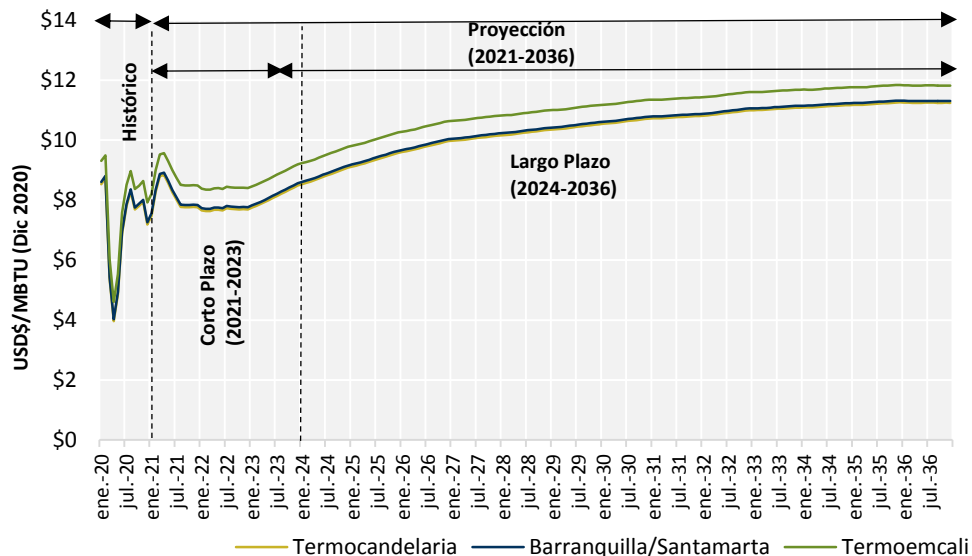
Fuente: UMPE, 2021

MM = Margen del mayorista correspondiente 413.7 COP/galón.

IVA_{may} = Impuesto al valor agregado del 19%.

En la Gráfica 17 se presentan los resultados.

Gráfica 17 Proyección de precios de combustóleo en plantas termoeléctricas



Fuente: UMPE, 2021

5.6 GLP y Gas

Actualmente, se tienen dos proyectos para generar energía eléctrica usando GLP respaldados por cargo por confiabilidad, estos son la planta de Termocaribe en Cartagena y la planta de Termosolo en Buenaventura. Para calcular el precio del GLP en estas plantas se usan las siguientes fórmulas. Estos proyectos entrarían en noviembre del año 2022 y en diciembre del año 2022 respectivamente.

$$P_{glpp_m} = G_{glp(m)} + Tt \quad (25)$$

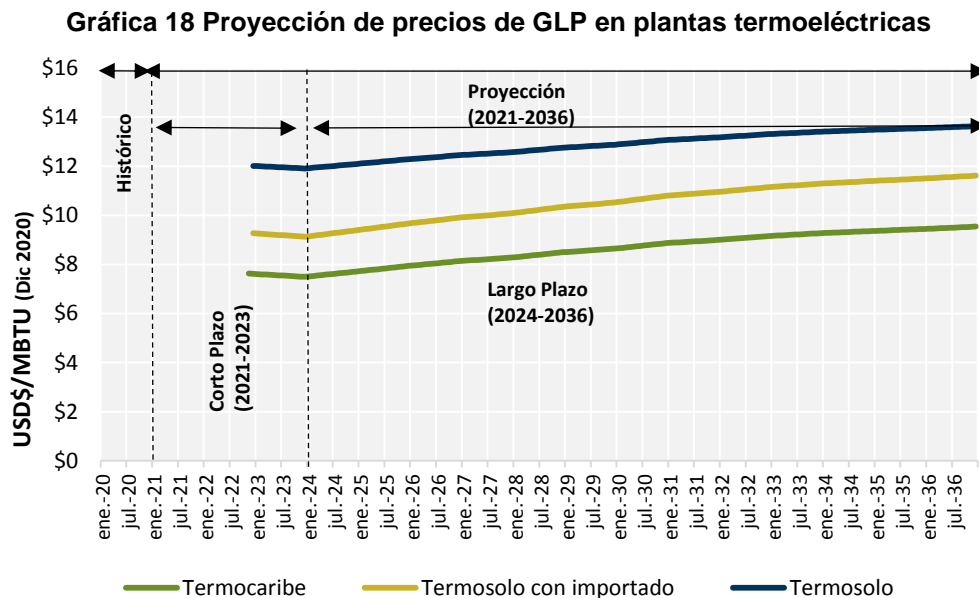
Donde:

P_{glpp_m} = Precio del glp en planta de generación en USD/MBTU a diciembre de 2020 usando la conversión 0.083928 MBTU/galón.

$G_{glp(m)}$ = Precio del glp en fuente nacional o importado según lo descrito en las ecuaciones 16 y 17.

Tt = Tarifas de transporte terrestre en USD/MBTU, para Termocaribe se asume que adquiere el producto en la refinería de Cartagena, por esto se toma precio equivalente a 0, para Termosolo se toma fuente Cusiana y por lo tanto un transporte equivalente a 5.6 USD/MBTU (1627.25 COP/galón). Cuando la fuente es glp importado desde Buenaventura para Termosolo el transporte es equivalente a 0.

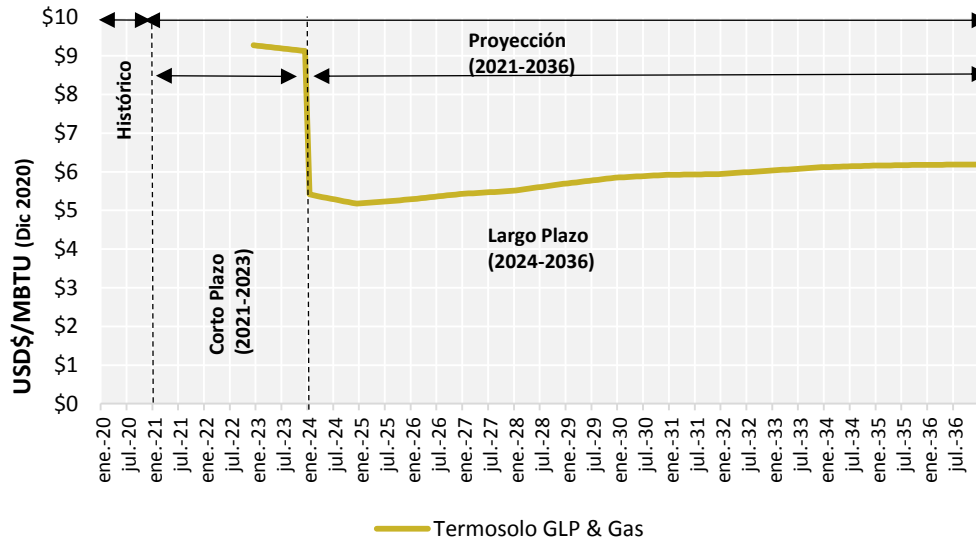
En la Gráfica 18, se presentan los resultados.



Fuente: UMPE, 2021

Como alternativa se plantea que la planta de Termosolo pueda generar energía eléctrica usando gas natural importado en Buenaventura a partir del año 2024, cuyo precio se calcula usando la fórmula 2 y sin tener en cuenta tarifa de transporte por ductos, ver Gráfica 19.

Gráfica 19 Alternativa de proyección de precios para planta termosolo



Fuente: UMPE, 2021

5.7 Carbón

Para proyectar el precio del carbón para generación se hace uso de los precios históricos de compra de carbón en cada una de las plantas termoeléctricas (promedio mensual) y de las tendencias internacionales que fueron usadas para proyectar el ingreso al productor.

Corto plazo:

$$P_{carbón(m)} = P_{carbón(m-1)} * TVP_{Coal-STE0(m)} \quad (26)$$

Largo plazo:

$$TVP_{Coal-STE0(m)} = TVP_{propane-Coal(a)}^{(1/12)} \quad (27)$$

Donde:

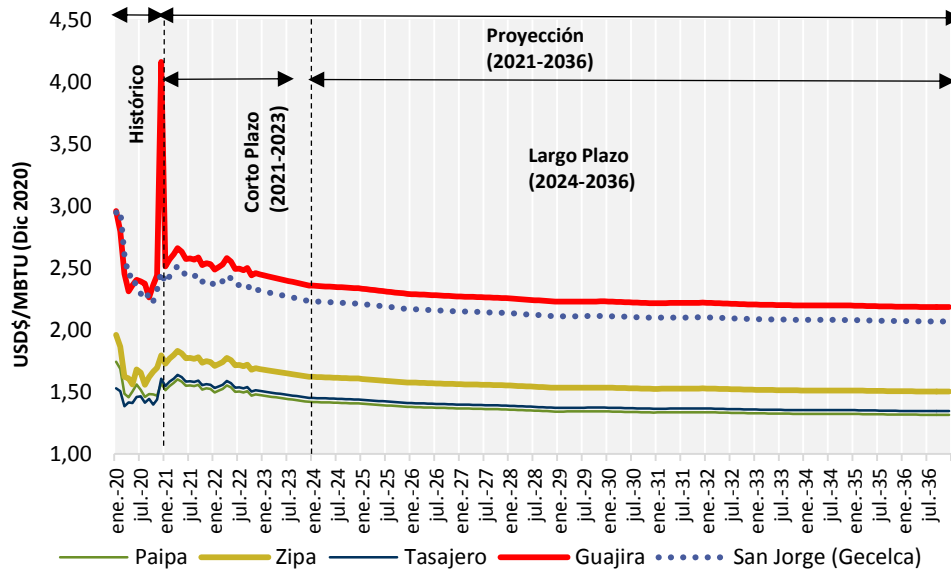
$P_{carbón(m)}$ = Precio en USD/MBTU a diciembre 2020 en cada una de las plantas de generación a carbón (Termoguaajira, Termopaipa, Termozipa, Gecelca – San Jorge) para el mes m, usando un poder calorífico equivalente a 25.067 MBTU/t.

$TVP_{Coal-STE0(m)}$ = Tasa de variación periódica del indicador Coal presentado en el STEO del mes m-1 al mes m.

$TVP_{Coal-AEO(a)}^{(1/12)}$ = Tasa de variación periódica del indicador Electric Power Steam Coal presentado en el AEO del año a-1 al año a, de acuerdo con el escenario seleccionado.

Los resultados obtenidos se pueden observar en la Gráfica 20.

Gráfica 20 Proyección de precios de carbón en plantas termoeléctricas



Fuente: UMPE, 2021

BIBLIOGRAFÍA

Administración de Información Energética de los Estados Unidos. Short Term Energy Outlook - STEO - marzo 2021. Disponible: <<https://www.eia.gov/outlooks/aeo/>>. Consultado: abril de 2020.

Administración de Información Energética de los Estados Unidos. Annual Energy Outlook 2020 –AEO – enero 2021. Disponible: < <https://www.eia.gov/outlooks/steo/>>. Consultado: abril de 2020.

Administración de Información Energética de los Estados Unidos. Disponible: < <https://www.eia.gov/outlooks/steo/archives/mar21.pdf>>. Consultado: abril de 2020.

Administración de Información Energética de los Estados Unidos. Disponible: < https://www.eia.gov/outlooks/aeo/assumptions/case_descriptions.php>. Consultado: abril de 2020.