

Relación Univariante y Multivariante entre el Costo Base de Generación con respecto al Precio del Fuelóleo Pesado y Diésel en Honduras

Resumen – Actualmente la tarifa eléctrica promedio en Honduras es una de las más altas a nivel mundial (lugar 47 de 147). El Costo Base de Generación (CBG) es el que comprende todos los costos de generación de energía eléctrica y potencia. El CBG representa el 69% del costo de la tarifa eléctrica. Se requiere analizar el efecto que tiene el aumento de los precios de diésel y fuelóleo pesado sobre el CBG buscando una disminución de la tarifa eléctrica al bajar el CBG. Esta investigación busca realizar correlaciones entre el CBG y el precio del fuelóleo pesado y el precio del diésel. Mediante los modelos de regresión lineal de esta investigación se puede predecir el valor del CBG a partir del valor del precio del diésel, fuelóleo pesado y la matriz de generación de energía eléctrica proveniente de fuentes renovables. En los resultados de esta investigación se presentan los siguientes datos: en Honduras se genera un mayor porcentaje de energía eléctrica a partir de fuentes renovables que de las energías no renovables para los meses que se tomaron en cuenta, sin embargo, el CBG que corresponde a las energías renovables es menor que el que corresponde a las no renovables. Esta es información valiosa para los tomadores de decisiones en la planificación energética, ya que por medio de esta se pueden guiar para el proceso de establecer contratos de manera que se reparta equitativamente el CBG con la intención de buscar una disminución de este.

Palabras clave-- Costo Base de Generación, relación univariante, relación multivariante, fuelóleo pesado, diésel.

Abstract – Summary – Currently the average electricity rate in Honduras is one of the highest in the world (place 47 out of 147). The Base Cost of Generation (CBG) is the one that includes all the costs of generating electricity and power. The CBG represents 69% of the cost of the electricity rate. It is necessary to analyze the effect of the increase in the prices of diesel and heavy fuel oil on the CBG, looking for a decrease in the electricity rate when the CBG falls. This research seeks to make correlations between CBG and the price of heavy fuel oil and the price of diesel. Through the linear regression models of this research, the value of the CBG can be predicted from the value of the price of diesel, heavy fuel oil and the matrix of electricity generation from renewable sources. The results of this investigation present the following data: in Honduras a higher percentage of electrical energy is generated from renewable sources than from non-renewable energies for the months that were considered; however, the CBG that corresponds to renewable

energies is lower than that corresponding to non-renewables. This is valuable information for decision makers in energy planning, since through it they can be guided in the process of establishing contracts so that the CBG is distributed equitably with the intention of seeking to reduce it.

Keywords-- Base Cost of Generation, univariate relationship, multivariate relationship, heavy fuel oil, diesel.

I. INTRODUCCIÓN

La planificación energética de un país es imprescindible para un futuro sostenible. Bitu y Born (1993) mencionan que los precios internacionales del petróleo son variables de inmensa importancia en el análisis de escenarios energéticos. Existen diversos productos derivados del petróleo que se utilizan para la generación de energía eléctrica, entre ellos los usados en Honduras, diésel y fuelóleo pesado (HFO 3%). Una predicción del comportamiento de la tarifa eléctrica de Honduras a partir de los derivados del petróleo sería de vital importancia para la planificación energética del país. [1]

La tarifa eléctrica en Honduras se encuentra en constante crecimiento. El Costo Base de Generación (CBG) ocupa la mayoría de los costos de la tarifa eléctrica, 69% en promedio a lo largo del 2022. El CBG comprende todos los costos con respecto al proceso de generación de energía eléctrica, la cual se divide en fuentes renovables y fuentes no renovables. [7]

Algunos autores han desarrollado estudios donde, a través de modelos de regresión lineal, correlacionan variables del sector energía eléctrica. Marlene Molina-Campos (2012) desarrolló una investigación donde relaciona las tarifas eléctricas del sector distribución de Costa Rica con el consumo y compras. Johansson y Gustafsson (2022) relacionan el precio

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

de la tarifa eléctrica con variables como, temperatura, inflación y el precio del carbón en Suecia. Nicolás Bayona (2017) relacionó la generación de electricidad con el consumo de combustibles en Ecuador. Jesús Torres (2010) relaciona el consumo de electricidad con los ingresos monetarios, precio marginal de la electricidad, gasto monetario y otras características del hogar para analizar la estructura tarifaria de México. [3] [4] [9] [10]

En esta tesis se correlacionará el CBG de Honduras con los precios del diésel, fuelóleo pesado y el porcentaje de generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables. Se desarrollará un análisis univariable para cada una de las variables antes mencionadas. Asimismo, se desarrollará un modelo de regresión multivariable para analizar el efecto de los precios de los dos productos derivados del petróleo sobre el CBG. Las ecuaciones de tendencia del CBG resultantes del modelo de regresión serán consideradas como las ecuaciones de predicción del CBG a partir de los valores de las variables independientes.

El resto del documento se estructura de la siguiente forma. El capítulo “Precedentes” presenta los precedentes de la investigación. “Metodología” describe la metodología empleada. “Resultados” presenta los resultados de la investigación. Luego “Conclusiones” enlista las conclusiones de la investigación. Por último “Recomendaciones” presenta las recomendaciones que se plantearon de acuerdo con las conclusiones de la investigación.

II. PRECEDENTES

Constantemente los precios de la tarifa eléctrica sufren aumentos en Honduras. A pesar de que surjan disminuciones en la tarifa eléctrica, esta vuelve a incrementar en el siguiente pliego tarifario. Honduras cuenta con una de las tarifas eléctricas más altas de Centroamérica y el mundo. Según Gopal Petrol Prices (GPP) abril 2022, un precio promedio de tarifa

eléctrica de \$0.18 por kWh (kilo Watt-hora), colocaba a Honduras en la posición 47 de los 147 países de las tarifas eléctricas más altas a nivel mundial. A nivel de Centroamérica, Honduras se posicionaba en el cuarto lugar, solamente detrás de él, se posicionaba El Salvador y Guatemala. [2]

La siguiente ilustración muestra el incremento en la tarifa eléctrica promedio de Honduras. [11]

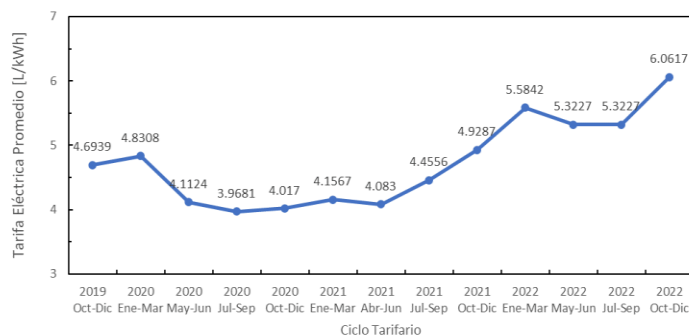


Ilustración 1- Evolución de tarifa eléctrica promedio.

En la siguiente figura se muestra el diagrama de la investigación.

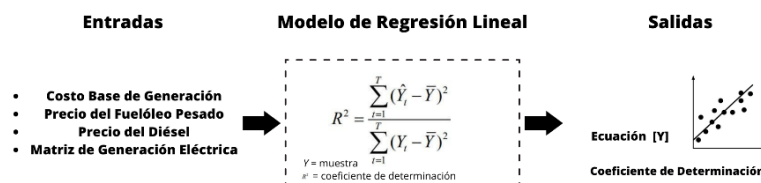


Ilustración 2- Diagrama de investigación.

III. METODOLOGÍA

En esta sección se muestra el proceso de la investigación paso a paso.

A. Variables de investigación

Las variables independientes son aquellas que pueden cambiar durante el estudio y también se pueden manipular para estudiar los diferentes efectos que pueden causar. La ilustración 1 muestra un diagrama de las variables independientes que existen en esta investigación.

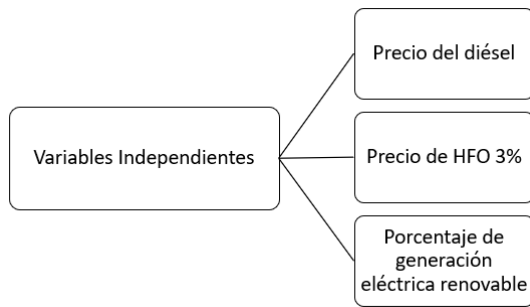


Ilustración 3- Variables independientes de la investigación.

La ilustración 2 muestra las variables dependientes de la investigación.

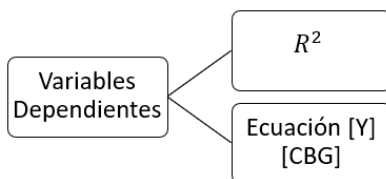


Ilustración 4- Variables dependientes de la investigación.

B. Herramientas

Microsoft Excel nos ayudará a tabular datos y realizar cálculos numéricos. Asimismo, nos ayudará a realizar los análisis de cada modelo de regresión junto con los gráficos de dispersión de cada correlación. [8]

C. Recolección de Datos

Los datos para utilizar en el cálculo de resultados deben ser recolectados de informes de ajustes tarifarios de la CREE, boletines estadísticos de la ENEE e informes publicados en la página web de la CREE. Las fechas de los datos mensuales a ser recolectados serán de marzo 2021 hasta julio 2022. Los datos para recolectar son CBG, precio del diésel, precio del fuelóleo pesado y matriz de generación de energía eléctrica. [6]

Para la matriz de generación de energía eléctrica se utilizará el porcentaje de energía eléctrica renovable. Este dato deberá calcularse ya que no lo presentan los informes de la CREE. Para este se necesita recolectar los datos de la energía

eléctrica generada por energías renovables y la energía eléctrica total para cada mes. Se calculará de la siguiente forma:

$$\% \text{ generación ER} = \frac{\text{electricidad generada ER [MWh]}}{\text{total electricidad generada en el mes [MWh]}}$$

Ecuación 1- Fórmula de cálculo de porcentaje de energía eléctrica renovable.

D. Modelo de Regresión lineal

La regresión lineal es un modelo estadístico que permite ver cómo reacciona una variable frente a una o más variables. Este se utiliza para realizar análisis de datos económicos, biológicos o experimentales. Se hace uso del coeficiente de correlación (R^2).

Se tomará en cuenta para esta investigación el valor de R^2 como:

Tabla 1- Criterio de determinación del tipo de relación.

| Tipo de relación | Caso |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| Fuerte | Cuando R^2 se encuentre entre 0.7 y 1, incluyendo el 0.7. |
| Moderada | Cuando R^2 se encuentre entre los valores de 0.3 y 0.7, incluyendo el 0.3. |
| Débil | Cuando R^2 se encuentre entre 0 y 0.3. |

[5]

E. Regresión lineal para la predicción de los precios del diésel y HFO 3%

Se desarrollará una regresión lineal donde se relaciona el precio del Diésel en función del tiempo. Asimismo, se creará una regresión lineal donde se relaciona el precio del fuelóleo pesado en función del tiempo. En la siguiente tabla se enlistan los precios mensuales del diésel y el fuelóleo pesado en orden cronológico. Se comienza la cuenta de los meses, en números cardinales, desde marzo del 2021 hasta julio 2022.

F. Predicción del CBG

En esta sección se estimará el valor de CBG futuro a través de las ecuaciones generadas de los modelos de regresión lineal.

Los valores para utilizar como variables dependientes en las ecuaciones de predicción del CBG serán los precios pronosticados del diésel y el fuelóleo pesado, previamente calculados.

IV. RESULTADOS

A. Correlación del CBG con respecto al precio del HFO 3%

La primera correlación lineal que se realizó fue la del CBG con respecto al fuelóleo pesado y dio como resultados los siguientes:

El R^2 nos explica un 65.02% de la correlación. Entre mayor es el valor del precio del HFO 3%, mayor es el CBG. La ecuación de predicción del CBG siguiente:

$$CBG = 932,639 \cdot x + 48,542,283.88$$

Ecuación 2- Ecuación del CBG con respecto al fuelóleo pesado.

En la siguiente gráfica se puede observar la tendencia ascendente del CBG con respecto al precio del fuelóleo pesado.

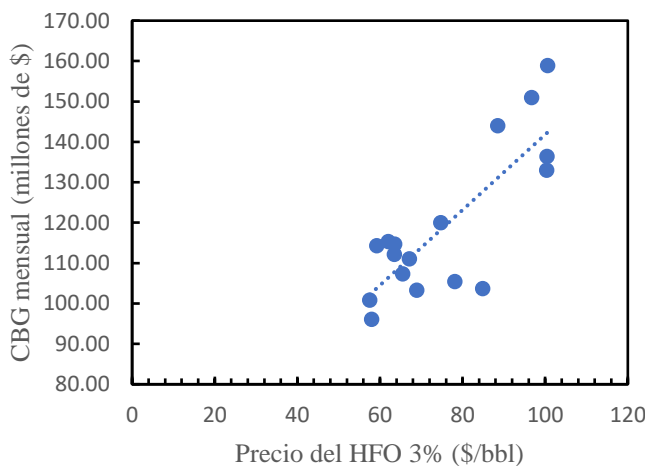


Ilustración 5- Tendencia del CBG con respecto al fuelóleo pesado.

B. Correlación del CBG con respecto al precio del diésel

La segunda correlación nos presentó los siguientes resultados:

El R^2 nos explica un 74.76% de la relación. Entre mayor es el valor del precio del diésel, mayor es el CBG. La ecuación de CBG siguiente:

$$CBG = 188,987.15 \cdot x + 68,287,320.17$$

Ecuación 3- Ecuación del CBG con respecto al precio del Diésel.

La siguiente ilustración muestra la tendencia de la correlación.

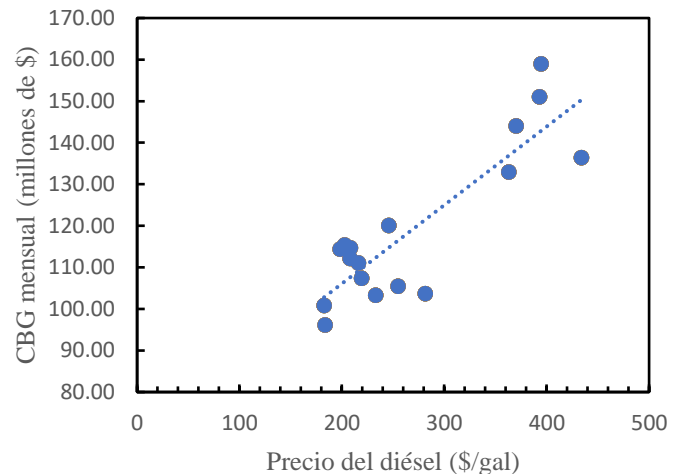


Ilustración 6- Tendencia del CBG con respecto al precio del diésel.

C. Correlación del CBG con respecto a la matriz de generación de energía eléctrica renovable

Para esta correlación de matriz energética se tomó en cuenta la generación renovable. Se ingresó el CBG mensual como variable de entrada dependiente y se ingresó el porcentaje de participación de energías renovables como variable independiente. Los resultados fueron los siguientes:

El R^2 nos explica un 68.7% de la relación. La ecuación siguiente:

$$CBG = -2,744,552.76 \cdot x + 286,027,396.01$$

Ecuación 4- Ecuación del CBG con respecto al porcentaje de generación de energía eléctrica renovable.

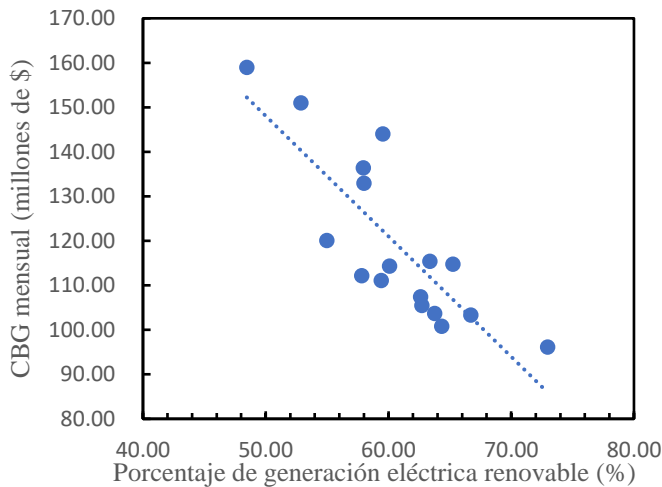


Ilustración 7- Tendencia del CBG con respecto a la generación de energía eléctrica renovable.

La ilustración 5 nos permite observar que la tendencia del CBG es descendente.

D. Correlación multivariable entre CBG con el precio del diésel y fuelóleo pesado.

En esta correlación se tomó en cuenta el CBG como variable dependiente y el precio del diésel y del fuelóleo pesado como variables dependientes. Los resultados fueron los siguientes:

El R^2 nos explica un 76% de la relación. La ecuación siguiente:

$$CBG = 312,455.93 \cdot X1 - 672,850.51 \cdot X2 + 86,007,114.87$$

Ecuación 5- Ecuación de CBG con respecto al precio el diésel y el fuelóleo pesado.

E. Predicción de los precios del diésel y HFO 3%

Se realizaron correlaciones univariadas del precio del diésel y el fuelóleo pesado con respecto al tiempo. Se expresa un R^2 de 0.82 en la correlación, lo que indica una correlación fuerte según lo especificado en la metodología de esta investigación. En la siguiente ilustración se puede observar la tendencia ascendente del precio del diésel con respecto al tiempo.

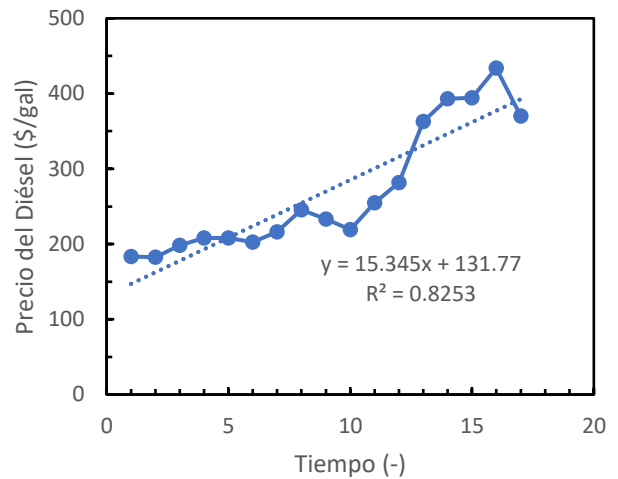


Ilustración 8- Tendencia del precio del diésel en función del tiempo.

La siguiente correlación fue la del precio del fuelóleo pesado con respecto al tiempo. Se obtiene un R^2 de 0.83 de la correlación, lo que indica una correlación fuerte según lo especificado en la metodología de esta investigación. En la siguiente ilustración se puede observar la tendencia ascendente del precio del fuelóleo pesado con respecto al tiempo.

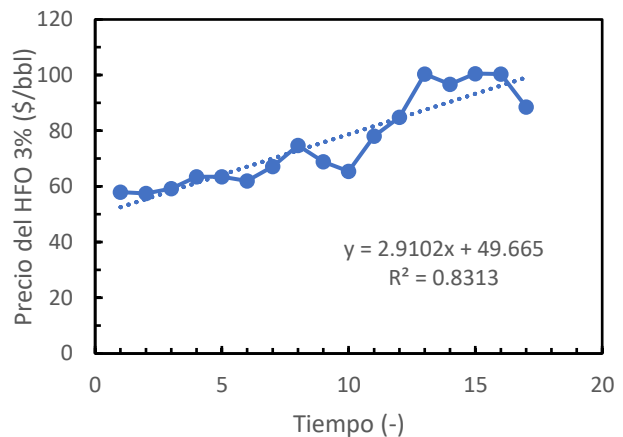


Ilustración 9- Tendencia del precio del HFO 3% en función del tiempo.

Luego se calculó el precio futuro del diésel y el fuelóleo pesado para el primer trimestre del año 2023 a través de las ecuaciones obtenidas anteriormente. Las predicciones fueron las siguientes:

Tabla 2- Predicción de precios del diésel y HFO 3%.

| 1 ^{er} Trimestre 2023 | Mes (-) | Diésel Real (\$/gal) | HFO 3% Real (\$/bbl) |
|--------------------------------------|------------|----------------------------|----------------------------|
| | 18 | 408.0 | 102.0 |
| | 19 | 423.3 | 105.0 |
| | 20 | 438.7 | 107.9 |

F. Predicción del CBG en función del precio del diésel y el HFO 3%

En este apartado se presentan los análisis del CBG con respecto al precio del fuelóleo pesado y diésel. Para esto se correlacionó el CBG con los precios del fuelóleo pesado y el diésel, obteniendo una correlación positiva fuerte entre el CBG y el diésel; y una correlación positiva moderada entre el CBG y el precio del fuelóleo pesado. A partir de esto se realizaron predicciones del CBG para el primer trimestre del 2023 en función de los precios pronosticados del fuelóleo pesado y el diésel y mediante un análisis transversal. Los resultados son los siguientes:

Tabla 3- Predicciones del CBG en función del precio del diésel y el HFO 3%.

| Mes | Predicciones del CBG | | |
|-----|-------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| | CBG en función del precio del HFO 3% (\$) | CBG en función del precio del Diésel (\$) | CBG en función del precio del Diésel y HFO 3% (\$) |
| 1 | 143,717,160 | 145,388,824 | 144,816,698 |
| 2 | 146,431,344 | 148,288,749 | 147,653,053 |
| 3 | 149,145,528 | 151,188,673 | 150,489,408 |

V. CONCLUSIONES

Se desarrolló un análisis de la correlación entre el CBG de Honduras y las variables seleccionadas. Asimismo, se realizó una modelo de regresión lineal para cada variable. También se determinó que el 60% de la generación de energía eléctrica, de las fechas tomadas en cuenta en la investigación, provino de

energías renovables. El CBG se divide en un 57% representado por la generación eléctrica renovable y 43% representado por la generación eléctrica no renovable. Esto indica que no está distribuida proporcionalmente el CBG entre la matriz de generación eléctrica de energías renovables y no renovables. El análisis de los modelos de regresión presentó los siguientes resultados:

1. El precio del fuelóleo pesado es una variable que influye moderadamente en el CBG. El coeficiente de determinación explica un 65% de la correlación.
2. El CBG se ve afectado por el precio del diésel fuertemente. El coeficiente de determinación explica un 74% de la relación. La tendencia del gráfico de dispersión es ascendente. A mayor precio del diésel, mayor CBG.
3. Entre el precio del diésel y el precio del fuelóleo pesado, es más influyente el precio del diésel sobre el CBG. Esta variable es más influyente en el caso de considerar una de las dos como predictora del futuro valor del CBG.
4. La tendencia del CBG, al relacionarlo con el porcentaje de generación de energía eléctrica renovable, es descendente. La correlación del CBG con el porcentaje de generación de energía eléctrica renovable, a pesar de presentar una relación moderada, está apoyada por el cálculo de la distribución del CBG, el cual muestra que la energía eléctrica renovable tiene un menor CBG que las energías no renovables. A mayor porcentaje de energía renovable, menor CBG.
5. La correlación multivariable entre el CBG y el precio del diésel y el fuelóleo pesado es la más fuerte de todas. Su coeficiente de determinación explica un 76% de la relación. A mayor precio del fuelóleo pesado y diésel, mayor CBG.
5. La tendencia del CBG al relacionarlo con el porcentaje de generación de energía eléctrica renovable, es descendente. La correlación del CBG con el porcentaje de generación de energía eléctrica renovable a pesar de presentar una relación moderada,

esta, apoyada por el cálculo de la distribución del CBG, muestra que la energía eléctrica renovable tiene un menor CBG. A mayor porcentaje de energía renovable, menor CBG.

La limitante más grande e importante de esta investigación es la falta de datos. Se cuenta con solamente 17 observaciones para desarrollar los modelos de regresión. En estos casos la regresión lineal es la más fuerte de las diferentes tendencias. Esta limitante deberá ser solucionada para realizar una investigación de este mismo tipo contando más datos o una investigación sobre este tema.

A pesar de las limitaciones, este trabajo puede servir a futuros investigadores para desarrollar más investigaciones en el rubro. Sería muy interesante realizar esta investigación con más datos, por ejemplo, dentro de dos años, para tener el doble de datos por lo menos. Se pueden buscar diferentes variables para desarrollar más modelos de regresión en busca de una mejor predicción del CBG.

VI. RECOMENDACIONES

- No se recomienda utilizar la ecuación de predicción del CBG obtenida de la correlación con el precio del fuelóleo pesado por su relación moderada.
- Se recomienda utilizar la ecuación de predicción del CBG obtenida de la correlación con el precio del diésel ya que esta muestra una fuerte relación.
- Se recomienda utilizar la ecuación de predicción de CBG obtenida del modelo de regresión multivariable sobre las demás, ya que la relación de esta es la más fuerte de todas.
- Se recomienda incentivar la generación de energía eléctrica renovable para disminuir la generación de energía eléctrica a base de fuentes no renovables, ya que estas causan un CBG más alto.

REFERENCIAS

- [1] Bitu, R., & Born, P. (1993). Tarifas de Energía Eléctrica: Aspectos Conceptuales y Metodológicos. Quito: OLADE.
[2] Forbes Centroamérica. (abril de 2022). forbescentroamerica.com.

- [3] Molina-Campos, M. (2012). Análisis del comportamiento de las tarifas de energía para el sector distribución en Costa Rica.
[4] Johansson, G., & Gustafsson, E. (2022). Regression Analysis of Various Factors' Impact on Electricity Prices in Sweden.
[5] Ratner, B. (2009). The correlation coefficient: Its values range between + 1 / - 1, or do they ? *Journal of Targeting, Measurement and Analysis for Marketing* , 4.
[6] ENEE. (2022). Boletín Estadístico Enero 2022.
[7] CREE. (2022). [cree.gob.hn](https://www.cree.gob.hn). Obtenido de <https://www.cree.gob.hn/historial-de-tarifas/>
[8] EXCELTOTAL. (2022). EXCELTOTAL. Obtenido de <https://exceltotal.com/>
[9] Bayona, N. (2017). ANÁLISIS DE CORRELACIÓN ENTRE VARIABLES: COSTOS DE MANTENIMIENTO Y CONSUMO DE COMBUSTIBLE VS PRODUCCIÓN DE.
[10] Cantú, J. W. (2010). TARIFAS ELÉCTRICAS DE USO DOMÉSTICO EFICIENTES: PROPUESTA PARA UN ESQUEMA DE TARIFAS MULTI-PARTES.
[11] CREE. (2022). [cree.gob.hn](https://www.cree.gob.hn). Obtenido de <https://www.cree.gob.hn/historial-de-tarifas/>