

Análisis del costo de la energía eléctrica en Panamá frente al precio del petróleo

Analysis of electricity cost in Panama against the oil price

Salvador Vargas¹ , Carlos Sanfilippo¹ , Antony García¹

¹ Universidad Tecnológica de Panamá, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Panamá

salvador.vargas@utp.ac.pa; carlos.sanfilippo@utp.ac.pa; antony.garcia@utp.ac.pa

Fecha de recepción: 19 de julio de 2022; Fecha de aprobación: 4 de noviembre de 2022

*Autor de correspondencia: Salvador Vargas (salvador.vargas@utp.ac.pa)

RESUMEN. El costo del petróleo en el mercado internacional tiene un impacto directo sobre los costos de la energía eléctrica. En Panamá existen mecanismos de corrección de los precios de la energía eléctrica al por menor para compensar estas variaciones a través del factor de corrección por variación combustible (CVC). Este mecanismo permite que la tarifa eléctrica al por menor se ajuste siguiendo las variaciones del petróleo. En el periodo que abarcó de 2015 a 2019, el precio del petróleo fluctuó mucho, llegando a superar los 75 USD por barril y decreciendo por debajo de los 30 USD por barril. Estas fluctuaciones afectaron los costos de energía en Panamá, aunque no precisamente de la manera que se esperaba según las condiciones establecidas para el mercado eléctrico. Para estudiar este fenómeno se ha construido una base de datos con los coeficientes de la tarifa de energía eléctrica y se ha desarrollado una herramienta de software que permite hacer cálculos de la factura por consumo de energía en el periodo de 2015 a 2019, para clientes del grupo de baja tensión sin demanda (BTS). Con la información recogida se realizó un estudio que determinó que existe una correlación moderada entre el costo del petróleo en el mercado internacional y la factura por consumo eléctrico en Panamá de 0.7 y 0.66 para clientes con consumos de 500kWh (BTS2) y 1000kWh (BTS3) respectivamente, cuando el CVC se utiliza, y de 0.366 y 0.365 cuando no se utiliza. Igualmente se encuentra que por cada 100kWh consumidos, la factura se incrementa (o decrecienta) en 7.25 centésimos por cada USD de incremento (o decremento) en el precio del barril de petróleo.

Palabras clave. *Correlación, costo de la energía eléctrica en Panamá, mercados eléctricos, precio del petróleo, prueba de hipótesis, regresión lineal.*

ABSTRACT. The oil cost in the international market has a direct impact on the cost of electricity. In Panama, there are mechanisms to compensate for these variations through the fuel variation correction factor (CVC). This mechanism allows the retail electricity rate to be adjusted following variations in oil. In the period from 2015 to 2019, oil fluctuated greatly, reaching over 75 USD per barrel and falling below 30 USD per barrel. These fluctuations affected energy costs in Panama, although not precisely in the way that was expected according to the conditions established for the electricity market. To study this phenomenon, a database has been built with the coefficients of the electricity rate and a software tool has been developed that allows calculations of the bill for energy consumption in the period from 2015 to 2019, for customers of the low voltage group without demand (BTS). With the information collected, it was determined that there is a moderate correlation between the cost of oil in the international market and the bill for electricity consumption in Panama of 0.7 and 0.66 for customers with consumption of 500kWh (BTS2) and 1000kWh (BTS3) respectively, when the CVC is used, and 0.366 and 0.365 when not used. Likewise, it is found that for every 100kWh consumed, the bill increases (or decreases) by 7.25 hundredths for each USD increase (or decrease) in the price of a barrel of oil.

Keywords. *Correlation, electricity cost in Panama, electricity markets, oil price, hypothesis test, linear regression.*

1. Introducción

Se conoce de diversos estudios que el consumo de energía eléctrica está directamente asociado al crecimiento económico de un país [1], [2], y que los países en desarrollo basan su crecimiento económico en el consumo de electricidad, independientemente del

precio del petróleo [3]. Sin embargo, no se puede negar que el precio de los combustibles fósiles, influyen en el costo de generación [4] y venta de la energía eléctrica [5-8]. Pudiendo ser el petróleo el elemento más importante para el establecimiento del precio de venta de esta [7], [8].

Los combustibles fósiles, entre ellos el petróleo, son las energías primarias de mayor consumo a nivel mundial [9], representando en 2019 el 84.28% (33% petróleo, 24.17% gas natural y 27.11% carbón) del total [10]. Parte de esta energía es utilizada para la generación eléctrica en plantas que convierten, a partir de la combustión, la energía química de los combustibles fósiles en energía térmica, que posteriormente se convierte en electricidad. De esta manera el 2.59%, 23.75% y 36.48% de la energía eléctrica generada mundialmente fue a partir de petróleo, gas natural y carbón, respectivamente [10].

En Panamá, al igual que en otros países del mundo, es importante destacar la importancia del sector eléctrico en el desarrollo económico del país pues sus servicios son utilizados por los sectores productivos y los hogares [11]. Y además la energía térmica es una fuente importante de producción de energía eléctrica, representando el 40.93% de la energía eléctrica generada en el 2019 [12], a pesar de la importante penetración de energías renovables, que para ese año representaba el 52.31% (2.59% solar, 43.77% hídrica y 5.95% eólica) [12].

Debido a la importancia del petróleo para la generación eléctrica y al ser Panamá un importador neto de productos derivados del petróleo [13], es normal que los precios de la energía eléctrica en el mercado panameño se vean afectados por el precio del barril de petróleo en el mercado internacional. Se han hecho algunos estudios que relacionan el precio del petróleo con sus beneficios, implicaciones fiscales y energéticas, en Panamá, República Dominicana y Centroamérica [14] y [15]. Sin embargo, estos estudios son generales para la región y no se enfocan específicamente en cómo son afectados los montos de facturación de la energía eléctrica al usuario final en Panamá, por las variaciones del precio del petróleo en el mercado internacional.

En Panamá el ente regulador del mercado eléctrico es la Autoridad Nacional de los Servicios Públicos (ASEP), creada mediante ley 26 del 29 de enero de 1996 [16], reformada por el Decreto Ley 10 de 22 de febrero del 2006 [17], y reglamentada por el Decreto Ejecutivo 279 de 14 de noviembre del 2006 [18]. La ASEP establece la tarifa eléctrica al usuario final cada seis meses, en enero y julio. Es decir, en cada mes que inicia un periodo semestral, y corresponde al cargo base original del

periodo respectivo. En cada mes existe una actualización parcial mensual, de un cargo unitario por consumo de energía que funciona como un factor de corrección conocido como Coeficiente de Variación por Combustible (CVC) [19]. Este cargo afecta la factura de los clientes al igual que la facturación de las generadoras, dependiendo del consumo eléctrico del cliente y de las variaciones del precio del petróleo durante los meses posteriores al establecimiento de la tarifa. Por ejemplo, si en el tercer mes de un semestre cualquiera, el precio del petróleo es inferior al precio del petróleo al inicio del semestre, el CVC debe reducir el costo de la energía para los clientes y en consecuencia la facturación de las distribuidoras, pues la tarifa fue calculada sobre un precio del petróleo superior al actual, y el costo de generación debió de reducirse. Lo inverso también es cierto, si el petróleo aumenta, el CVC debe aumentar la factura de los clientes y por ende la facturación de las distribuidoras.

En esencia es un factor que transfiere la variación de los precios del petróleo a las facturas de los clientes en cada mes. Sin embargo, en años recientes el CVC no ha sido aplicado [20-21], en distintos periodos de tiempo en los que se han producido importantes variaciones en el costo del petróleo [22]. Esta situación nos hace preguntarnos si en realidad este factor de corrección está siendo utilizado de manera correcta.

El propósito de este artículo es estudiar el efecto que tiene el precio del petróleo en el mercado internacional, sobre la factura de la energía eléctrica en los clientes finales en Panamá, comprobar la correlación entre estas variables y estimar el monto en que estas variaciones afectan la factura. Además, se prueban hipótesis referentes a la utilización incorrecta del CVC.

En el artículo se presenta en la sección 2 una descripción del mercado eléctrico panameño, mostrándose los agentes de este, los tipos de clientes, tarifa y facturación, además del alcance de la investigación, las hipótesis planteadas y la recolección de datos. En la sección 3 se presentan los resultados encontrados de las correlaciones, el análisis de regresión y las pruebas de hipótesis. Y finalmente en la sección 4 se presentan las conclusiones.

2. Materiales y métodos

2.1 El mercado eléctrico panameño

Después de la privatización de la entidad estatal encargada de la producción, transporte y distribución de la energía eléctrica en Panamá, el Instituto de Recursos Hidráulicos y Electrificación (IRHE), mediante la ley 6 del 3 de febrero de 1997 [23] y el decreto ejecutivo 50 del 14 de noviembre de 1997 [24]. El mercado eléctrico panameño se constituyó de múltiples empresas tanto públicas como privadas. Hoy en día existen múltiples empresas productoras de energía que podemos clasificar como generadoras, autogeneradoras y cogeneradoras [25], algunas con participación estatal, y otras que pertenecen al sector privado. Una empresa que se encarga de la transmisión de energía, la Empresa de Transmisión Eléctrica S. A. (ETESA), que pertenece al estado panameño. Y tres empresas privadas, ENSA, EDEMET y EDECHI (las dos últimas de Naturgy), que se encargan de la distribución, en las cuales el estado panameño conserva el 49% de las acciones, y que fueron concesionadas mediante las resoluciones JD-994, JD-992 y JD-993 del 3 septiembre de 1998 [26].

Estas empresas se encargan de la distribución y comercialización de la energía dentro un área de concesión específica que se les ha asignado. Las áreas de concesión son zonas geográficas bien delimitadas [27-28], en las cuales las empresas de distribución tienen derecho exclusivo para el despacho y comercialización de energía. Cada área de concesión tiene su propia tarifa, la cual es establecida cada seis meses por el ente regulador del mercado, la ASEP.

2.2 Tipos de tarifa

Existen distintos tipos de tarifa para los clientes, dependiendo del consumo de energía, la demanda de potencia y el nivel de voltaje en el punto de conexión con la empresa distribuidora [29].

- **Baja tensión sin demanda (BTS):** tarifa aplicable a clientes que se conectan a la red eléctrica en baja tensión (menos de 600 voltios) y que no exigen una demanda superior a 15kW. Esta tarifa se subdivide en BTS1, BTS2 y BTS3, dependiendo del consumo de energía de los clientes.

Tabla 1. Clasificación de cliente BTS según consumo en 30 días

Tipo de Cliente	Consumo Mínimo (kWh)	Consumo Máximo (kWh)
BTS1	0	300
BTS2	301	750
BTS3	751	---

En la Tabla 1, se observa la clasificación del tipo de cliente BTS según el consumo de energía en 30 días.

- **Baja tensión con demanda (BTD):** aplicable a clientes en baja tensión que superan una demanda de 15kW.
- **Baja tensión por bloque horario (BTH):** aplicable a clientes conectados en baja tensión, con tarifas para energía y potencia en periodos en punta y fuera de punta.
- **Media tensión con demanda (MTD) y Media tensión por bloque horario (MTH):** para clientes conectados en media tensión (más de 600 voltios) con tarifas para energía y potencia en periodos en punta y fuera de punta.
- **Alta tensión con demanda (ATD) y Alta tensión por bloque horario (ATH):** para clientes conectados en alta tensión (más de 115 kilovoltios) con tarifas para energía y potencia en periodos en punta y fuera de punta.

Para el análisis que se hará en este documento solamente se tomará en consideración los clientes BTS, pues en este tipo de tarifa solamente se considera el consumo de energía y no así la demanda. También cabe señalar que la mayor parte de los clientes en Panamá, aproximadamente el 71.7% se ubican en la tarifa BTS1 [30], es decir, con un consumo promedio menor a 300kWh por cada 30 días, sin llegar a superar los 15kW de carga.

2.3 Facturación de energía

La facturación y el cobro de la energía consumida por los clientes es responsabilidad de cada empresa distribuidora. La tarifa eléctrica, junto con los componentes que forman la factura de energía son publicados mes a mes en la página oficial de la ASEP [20-21]. Sin embargo, esto no significa que sea fácil para un cliente verificar el cálculo de su factura. Existe una gran cantidad de definiciones, coeficientes, factores de corrección y condiciones que deben ser tomadas en cuenta para calcular la factura de energía eléctrica en Panamá. Cabe destacar que estos coeficientes y

condiciones dependen del área de concesión en la que se encuentra el cliente, y debe ser lo primero a tomar en cuenta para el cálculo de la factura.

A continuación, se describen los principales componentes y aspectos a tomar en cuenta para calcular la factura correspondiente a un cliente BTS en Panamá.

- **Cargo fijo:** es un coeficiente que se establece de manera semestral y que se fija según el área de concesión. Corresponde al consumo de los primeros 10 kWh de cada cliente. Esto quiere decir que, aunque el consumo de un cliente sea de 0 kWh, se le cobrará el cargo fijo como una cuota al derecho de estar conectado a la red.
- **Cargo por energía:** es el producto del consumo de energía multiplicado por el coeficiente de la tarifa. El coeficiente de la tarifa varía dependiendo del tipo de cliente y de la empresa distribuidora. El tipo de cliente se clasifica de acuerdo con su consumo de energía, ver Tabla 1. Por ejemplo, si un cliente consume entre 0 y 300 kWh por cada 30 días, con una demanda menor de 15 kW, al cliente se le aplicará la tarifa BTS1. El consumo de los clientes se prorratea a 30 días, pues los días facturados pueden variar con cada ciclo de facturación. La tarifa es calculada y publicada semestralmente por la ASEP.
- **Cargo por Variación por Combustible:** según el artículo 125 del Título IV del Reglamento de Distribución y Comercialización de la ASEP, se define como un cargo adicional que se determina calculando las variaciones de costo y energía comprada con respecto a la estimada en los contratos térmicos y en el mercado ocasional [19]. Este cargo se calcula cada mes, conforme al siguiente calendario:
 - En julio y agosto se actualizan los costos de mayo
 - En agosto y septiembre se actualizan los costos de junio
 - En septiembre y octubre se actualizan los costos de julio

Y así sucesivamente. Esta metodología ha sido aplicada desde el mes de julio del 2014. Para calcular el cargo, se utiliza un coeficiente que se multiplica por el consumo en kWh de cada cliente. Este factor puede ser positivo o negativo, no está acotado, y depende directamente de la variación del precio del petróleo en el

mercado internacional. Este coeficiente es publicado cada mes en la página oficial de la ASEP [20] - [21], y calculado, ver artículo 130 de [19], utilizando la siguiente fórmula:

$$CVC = \frac{(IT_{im}^{p-restante} - IT_{im-1}^{p-restante})}{Venta_i (kWh)^{p-restante}} \quad (1)$$

donde, $IT_{im}^{p-restante}$ es el Ingreso Total que produce la tarifa vigente para cada categoría tarifaria i para el periodo “p-restante”, $IT_{im-1}^{p-restante}$ es el Ingreso Total que produce la tarifa para cada categoría tarifaria i con los cargos actualizados para el mes “m” con la metodología establecida en el artículo 138 para el periodo “p-restante”, y $Venta_i (kWh)^{p-restante}$ corresponde a la proyección presentada cuando se estimó el periodo p para cubrir el periodo “p-restante”. Donde “p-restante”: son los dos meses que siguen al inicio de la aplicación del cargo calculado, incluyendo el primer mes en que se aplica el mismo. En la última actualización mensual de cada semestre, el “p-restante” corresponderá solamente a ese mes.

- **Fondo de Estabilización Tarifaria (FET):** es un subsidio aplicado a los clientes con un consumo menor a 300kWh en las tres áreas de concesión. Este subsidio busca reducir el valor de la factura para la mayor parte de los clientes del país, que según estadísticas no consumen más de 300kWh al mes (más del 70%). El coeficiente de descuento aplicado depende del consumo del cliente, a intervalos de 50kWh entre 0 y 300kWh. Los coeficientes son calculados y publicados mes a mes en la página oficial de la ASEP.
- **Fondo Tarifario de Occidente (FTO):** es un subsidio aplicado a los clientes ubicados en el área de concesión de EDECHI. Con este subsidio se busca bajar los costos de la factura de energía eléctrica en el área de concesión que posee la menor cantidad de clientes en todo el país. Debido a que la factura se calcula con base en costos de operación y cantidad de clientes, al área de concesión de EDECHI le corresponde una tarifa más alta que al resto del país. El FTO se calcula y publica semestralmente e incluye a clientes BT, MT y AT.
- **Descuento a jubilados/tercera edad:** 25% de descuento para clientes jubilados o en la tercera

edad, siempre y cuando el consumo sea menor a 600kWh por cada 30 días.

- **Recargo por ley 15 del 2001:** Es un coeficiente de recargo que se aplica a los clientes con un consumo promedio superior a 500kWh por cada 30 días. El cobro de este recargo es utilizado para subsidiar a los clientes con un consumo menor a 100kWh. Es aplicado a las tres áreas de concesión, y se calcula y publica cada mes por la ASEP.
- **Descuento por ley 15 de 2001:** Aplicado a los clientes con un consumo menor a 100kWh. Los fondos para este subsidio son aportados por los clientes que consumen más de 500kWh al mes. Es aplicado a las tres áreas de concesión, se calcula y publica cada mes por la ASEP.

En resumen, para calcular la factura para un cliente BTS en Panamá es necesario tomar en cuenta el área geográfica, el consumo de energía, la empresa distribuidora y la edad del cliente. Además de coeficientes que son establecidos cada mes y cada semestre.

2.4 Alcance de la investigación

Dada la definición por Ley del CVC, es necesario tomar en consideración datos tales como el consumo de energía termoeléctrica en Panamá, las tasas del cargo adicional y el precio del petróleo durante el periodo en el que se hace el análisis de datos.

En esta investigación se pretende encontrar las correlaciones entre variables como costo del petróleo en el mercado internacional y monto de la factura para clientes con tarifas BTS. Con el objetivo de comprobar si el CVC representa un factor de corrección apropiado para la tarifa eléctrica, o simplemente no traslada las variaciones del costo de este combustible.

2.5 Hipótesis

Una revisión de la información disponible en el sitio web de la ASEP, nos permite identificar patrones en el coeficiente del CVC que a simple vista llaman mucho la atención:

- Durante el segundo semestre del año 2018, de julio a diciembre el CVC se mantuvo estático en un valor fijo. Es decir, en vez de ser calculado mensualmente como se acostumbra, se estableció un único coeficiente para cada tipo de tarifa que se mantuvo constante durante todo el semestre.

- Durante el segundo semestre del año 2019, de julio a diciembre, al igual que durante el periodo que incluye todo el año 2015, incluyendo hasta febrero de 2016, el CVC no fue utilizado. Es decir, el coeficiente del CVC fue de cero en estos periodos.

Esto se puede apreciar en la Figura 1, donde se muestran los CVC, para clientes BTS-2 y BTS-3 de enero de 2015 a diciembre de 2019.

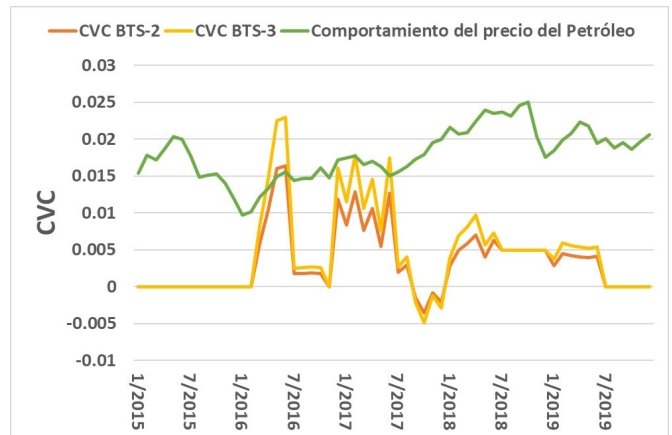


Figura 1. Comportamiento del precio del petróleo y CVC para un cliente BTS-2, y otro BTS-3, entre enero de 2015 y diciembre de 2019.

Estas dos situaciones que se han presentado nos han motivado a investigar si el CVC cumple con la función para la cual fue creado.

Por otro lado, debido a que el CVC es un coeficiente que se multiplica por el consumo del cliente, para determinar el cargo por variación de combustible que se incluye en la factura debido a este, se debe establecer un consumo de energía determinado durante el periodo de tiempo en cuestión para determinar el aporte de este cargo a la factura.

Lo mencionado anteriormente nos hace proponer las siguientes hipótesis a comprobar:

H₁₁: En menos de la mitad de las veces que el precio del petróleo disminuyó, la factura de la luz se redujo, para clientes BTS2 con consumos de 500kWh.

H₁₂: En más del 75% de las veces que aumentó el precio del petróleo, la factura de la luz aumentó, para clientes BTS3 con consumos de 1000kWh.

2.6 Recolección de datos

El levantamiento de datos es un tema importante dentro del planteamiento del problema. En primer lugar, para

calcular la tarifa de energía en Panamá, como ya se explicó en una sección anterior, es necesario tomar en consideración una gran cantidad de datos y condiciones. Estos datos, se toman de la página oficial de la ASEP [20] - [21], y no pueden ser procesados de manera directa, pues se encuentran publicados en formato PDF. De la misma manera, los datos del precio del petróleo se tomaron de la página de internet Datos Macro [22].

Para el levantamiento de los datos del CVC, se considera el periodo comprendido entre enero de 2015 y diciembre de 2019. Esto es así porque, si se considera el segundo semestre del 2014, que fue cuando entró en vigor el CVC, habría que considerar un procedimiento distinto al expuesto para el cálculo de la factura, pues en dicho momento las reglas del mercado eléctrico eran distintas. Igualmente sucede si consideramos el primer semestre de 2020, ya que aparecen diversas legislaciones especiales debida a la pandemia del Covid-19 [31].

Para evaluar de manera más apropiada el comportamiento del costo de la energía en Panamá, se ha desarrollado una herramienta de software [32] en lenguaje Java para este propósito. Esta herramienta extrae los datos requeridos para el cálculo de la factura de energía eléctrica desde una base de datos que ha sido construida con base en los coeficientes publicados en la página oficial de la ASEP. Se utilizó el paradigma de Programación Orientada a Objetos para el diseño de esta herramienta, la cual permite hacer cálculos de facturación para cada mes, en periodos de tiempo comprendidos entre enero 2015 y diciembre 2019. La herramienta permite exportar los datos en una hoja de cálculo, con todos los coeficientes y cargos asociados al cálculo de la tarifa en cada mes. La interfaz de usuario de esta herramienta se muestra en la Figura 2. Como se observa en esta figura, la interfaz permite escoger los parámetros que se desea incluir en la hoja de cálculo. La hoja de cálculo es un documento generado en formato .xlsx.

Figura 2. Interfaz de usuario de la herramienta de software diseñada para la extracción de datos.

3. Resultados y discusión

Utilizando la herramienta de software desarrollada se ha hecho un barrido de datos desde el inicio del 2015 hasta el final del 2019 [20], considerando 3 valores de consumo distintos: 250kWh, 500kWh y 1000kWh. La razón detrás de esta selección es simple: se toman en cuenta los 3 tipos de tarifa BTS, sin que los valores escogidos se encuentren en el límite de tarifa. Se considera que el cliente se encuentra en el área de concesión de ENSA, y que no cuenta con el descuento aplicable a clientes jubilados, siendo este el único cargo no tomado en cuenta para calcular la factura, de todos los que se aprecian en la Figura 2. En la Figura 3 se muestran los costos facturados en electricidad, dados en Balboas (B/.) para los tres casos mencionados.

Como se aprecia en la Figura 3, a lo largo del periodo en estudio, la factura de los clientes con consumos de 500kWh y 1000kWh, es bastante variable, sin embargo la de 250kWh, no lo es. Esto es así debido a que en Panamá el gobierno subsidia a los clientes con un consumo menor a 300kWh, es decir, aquellos a los que se les aplica la tarifa BTS1. Este subsidio provoca que el

costo para este tipo de clientes se mantenga prácticamente invariable en el tiempo.

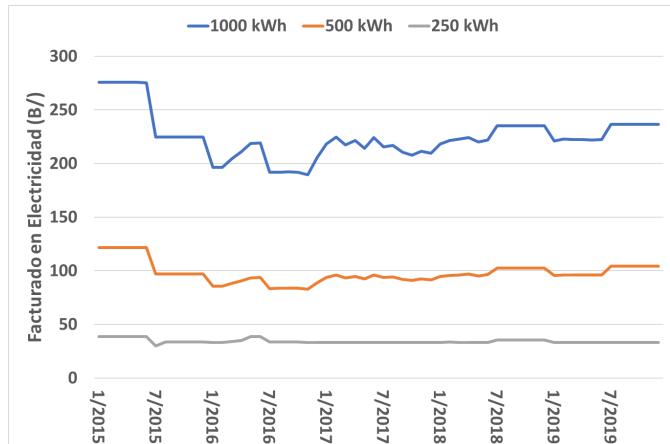


Figura 3. Facturado en Balboas por consumo de 250, 500 y 1000kWh en el área de concesión de ENSA entre 2015 y 2019, incluyendo todos los cargos, excepto el descuento de jubilados.

Entre 2015 y 2019, la desviación estándar del costo de energía para un cliente BTS1 fue de B/. 1.99, un 5.83% sobre la media de B/. 34.11; los clientes BTS2 y BTS3 presentaron desviaciones de B/. 10.03 y B/. 21.21 respectivamente, lo cual representa un 10.03% y un 9.43% de variación sobre las medias de B/. 97.75 y B/. 224.91. Esto nos da a entender que los costos para los clientes del primer bloque tarifario varían poco, por lo tanto, no resulta práctico utilizar a este tipo de clientes para el análisis sobre el efecto del petróleo en la tarifa.

3.1 Correlaciones entre variables

Los clientes que presentan una mayor variación en el costo de la energía son aquellos que superan un consumo de 300kWh, es decir, los clasificados como BTS2 y BTS3, siendo el bloque BTS2 donde se presenta la mayor variación. Tomando en cuenta este aspecto, en la Figura 4 se presenta una gráfica del costo promedio del barril de petróleo frente al costo de la energía en Panamá para un cliente BTS2 de 500kWh, y otro BTS3 de 1000kWh. Y en la Figura 5 se muestra el diagrama de dispersión para estas dos variables, para clientes BTS2 y BTS3 con consumos con estos mismos consumos. En ambas figuras se ve, a grandes rasgos, que el costo de consumo de energía en Panamá se correlaciona levemente al precio del petróleo. Cuando el petróleo baja, la energía en Panamá baja también, y viceversa también sucede lo mismo.

Para cuantificar las correlaciones entre las variables, utilizaremos el coeficiente de correlación de Pearson, el cual viene dado por:

$$r_{XY} = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \sigma_Y} = \frac{\sum_{i=1}^N [(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{[\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2]^{1/2}} \quad (2)$$

donde σ_{XY} es la covarianza entre las variables x e y , σ_X y σ_Y son las desviaciones estándar de x e y , N es el número de muestras, \bar{x} e \bar{y} son las medias de las variables x e y respectivamente.

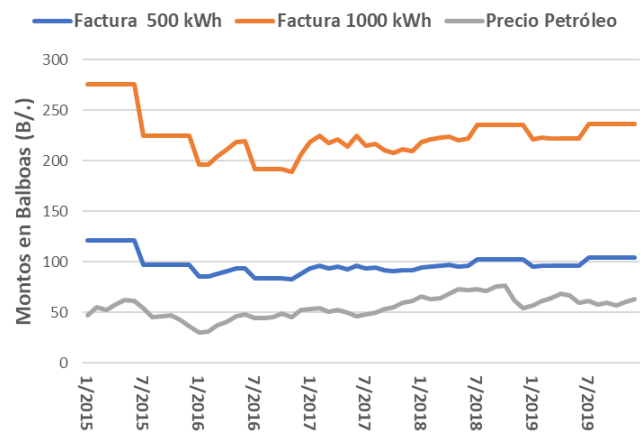


Figura 4. Comparación del precio del petróleo versus el costo de consumir 500kWh y 1000kWh entre 2015 y 2019, ambos en Balboas.

Si encontramos los coeficientes de correlación de Pearson entre las variables X_i ($i = 2, 3$): el costo de energía facturado a un BTS i por consumo de 500 kWh (BTS2) o 1000 kWh (BTS3); e Y : el precio del barril de petróleo, en el intervalo de estudio, resulta en valores de correlación de $r_{x_1y} = 0.366$ y $r_{x_2y} = 0.365$ con una $p < 0.00417$ en ambos casos. Lo que refleja una correlación positiva de mediana a moderada.

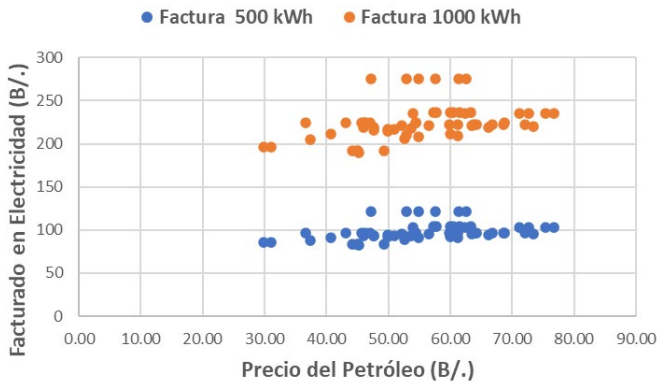


Figura 5. Diagrama de dispersión entre el Precio del petróleo y lo facturado en electricidad por consumo de 500kWh y 1000kWh.

Por otro lado, en la Figura 1 se aprecia que el CVC durante todo el año 2015, noviembre de 2016 y el segundo semestre del 2019 fue cero. Sin embargo, en estos meses hubo variaciones en el precio del combustible, observe la Figura 4. Pero, como ya se ha mencionado en este artículo, existen algunos periodos de tiempo en el que la dinámica del costo de la energía en Panamá no corresponde con la dinámica del precio del combustible.

Tomando esto en cuenta, se hace el análisis excluyendo los meses donde el CVC no fue utilizado, es decir, fue cero. En la Figura 6 se muestra el diagrama de dispersión entre el precio del petróleo y el costo facturado por consumos de 500kWh y 1000kWh, donde se puede apreciar en mayor medida la correlación entre las variables, ya que se han eliminado datos espurios (cuando el CVC fue cero) que se aprecian en la Figura 5, es decir, los puntos que aparecen por arriba de un costo de B/. 120.00, para la factura con consumo de 500kWh, y por arriba de B/. 250.00, para la factura con consumo de 1000kWh.

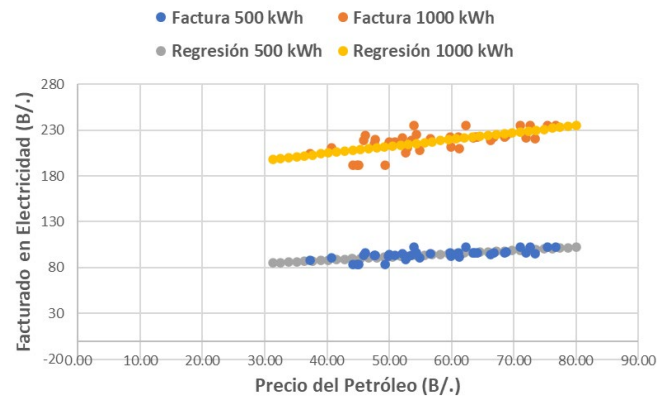


Figura 6. Diagrama de dispersión entre el Precio del petróleo lo facturado en electricidad por consumo de 500kWh y 1000kWh, excluyendo los periodos donde el CVC fue cero.

En este caso, el cálculo del coeficiente de correlación Pearson, resulta en $r_{x1y} = 0.70$ y $r_{x2y} = 0.66$, respectivamente con $p < 0.001$ en ambos casos. Estos valores son mayores a los encontrados anteriormente y muestran unas correlaciones de moderadas a altas.

Los resultados nos indican que cuando se utiliza el CVC se observa de una manera más fuerte la correlación, y hablando de una manera causal, el traslado de la variación del precio del petróleo a la factura de los clientes, de modo que el CVC cumple con el objetivo que pretendía cumplir. Sin embargo, debe utilizarse, y dentro del periodo de estudio no se utilizó durante un 35% del mismo.

3.2 Regresión lineal entre variables

En la Figura 6, también se puede observar la recta de regresión lineal encontrada utilizando mínimos cuadrados. La misma tiene una pendiente de 0.34851 y un valor de cruce por el eje y de 74.24. Lo que indica que en promedio un cliente BTS2 que consume 500kWh, tendrá un incremento aproximado de 35 centésimos de balboa en su factura por cada balboa que se incremente el barril de petróleo, y viceversa cuando el petróleo disminuye. En el caso de un cliente BTS3 con consumo de 1000kWh la pendiente y el cruce por el eje corresponden a 0.7522 y 174.55 respectivamente. La variación del precio del petróleo se traslada de manera diferente a la factura (a través de la pendiente) porque el consumo del BTS2 y BTS3 es distinto. Si normalizamos el consumo de ambos clientes por los primeros 100kWh consumidos, se encuentra que el BTS2 y el BTS3, tienen variaciones en la factura de 6.97 y 7.52 céntimos de

balboa por cada balboa de incremento en el precio del petróleo. Tomando la media, podemos concluir que por cada balboa de variación en el precio del petróleo tenemos una variación de la factura en aproximadamente 7.25 centésimos de balboa (por consumo de 100kWh).

Finalmente se hace notar que aunque el CVC no se basa directamente en el costo del combustible sino en los contratos con las empresas termoeléctricas, la metodología utilizada para este estudio nos parece una buena aproximación.

3.3 Prueba de hipótesis

Las hipótesis que se pretenden probar en este artículo son sobre el valor de una sola proporción. En este caso se utilizará la distribución binomial para probar las mismas.

En el primer caso debemos probar la afirmación, H_{11} : En menos de la mitad de las veces que el precio del petróleo disminuyó, la factura de la luz se redujo, para clientes BTS2 con consumos de 500kWh, es decir la proporción de reducciones en la factura es menor que 0.5. La hipótesis estadística para probar es:

$$H_{01}: p = 0.5 \quad (3)$$

$$H_{a1}: p < 0.5 \quad (4)$$

Donde H_{01} , es la hipótesis nula mientras que H_{a1} es la hipótesis alternativa, que se aceptaría si se rechaza la hipótesis nula.

En nuestro caso, en el periodo que va de enero de 2015 a diciembre de 2019 para clientes BTS2, se dio un decremento en la factura $x = 11$ veces, de un total de $n = 22$ ocasiones en que el precio del petróleo se redujo. Para ver si se puede rechazar la hipótesis nula, encontramos la probabilidad de que en 11 veces o menos se dé una rebaja de la factura, utilizando una distribución binomial con $n = 22$ y $p = 0.5$, lo cual resulta en:

$$P\{X \leq 11 \text{ con } p = 0.5\} = 0.5841 \quad (5)$$

Utilizando un nivel de significancia $\alpha = 10\%$, vemos que como el valor encontrado es mayor que el nivel de significancia del 10%, es decir, no es algo poco probable, no se puede rechazar la hipótesis nula, y no se puede concluir nada respecto a la hipótesis de investigación.

La segunda afirmación, H_{12} : En más del 75% de las veces que aumentó el precio del petróleo, la factura de la luz aumentó, para clientes BTS3 con consumos de

1000kWh. El planteamiento estadístico de esta hipótesis viene dado por:

$$H_{02}: p = 0.75 \quad (6)$$

$$H_{a2}: p > 0.75 \quad (7)$$

Donde H_{02} y H_{a2} son las hipótesis nula y alternativa dos, respectivamente. En este caso tenemos que el petróleo se incrementó $n = 38$ veces, con aumento de la factura para el cliente BTS3 en $y = 29$ ocasiones. Nuevamente, para ver si rechazamos la hipótesis nula encontramos la probabilidad de que se tengan 29 o más subidas de factura utilizando una distribución binomial con $n = 38$ y $p = 0.75$, lo que resulta en:

$$P\{Y \geq 29 \text{ con } p = 0.75\} = 0.5127 \quad (8)$$

Utilizando un nivel de significancia $\alpha = 10\%$, vemos que el valor encontrado es bastante grande y mayor que el nivel de significancia utilizado por lo cual tampoco nos permite rechazar la hipótesis nula, ni concluir nada con respecto a esta hipótesis de investigación.

4. Conclusiones

Se ha hecho un estudio correlacional del costo de la energía eléctrica en Panamá con las tarifas de la distribuidora ENSA, en el rango de fechas que van de enero de 2015 a diciembre de 2019, frente al costo del petróleo en el mercado internacional para clientes pertenecientes al grupo BTS. Como primer paso se ha dado una descripción del Mercado Eléctrico Panameño enfocado en el tipo de cliente, de tarifa, periodos, y se ha presentado el CVC como mecanismo de corrección intrasemestral de la tarifa eléctrica (y por ende la factura) por la variación del precio del petróleo. Para la realización del estudio, se ha construido una base de datos con los datos del mercado eléctrico panameño y se ha desarrollado una herramienta de software capaz de hacer un barrido de datos de costo de energía en el periodo de estudio escogido (de enero de 2015 a diciembre de 2019), debido a la forma de cálculo del costo de la energía y a la situación especial originada por causa de la pandemia.

Con la información encontrada se reconoce que en Panamá los clientes subsidiados, es decir, aquellos con un consumo menor a 300kWh no se ven muy afectados por el costo del petróleo, manteniendo costos

prácticamente fijos a través del periodo analizado. Los clientes no subsidiados, es decir, aquellos con un consumo superior a 300kWh (BTS2 y BTS3) son más propensos a las variaciones del costo del petróleo, con desviaciones en torno al 10% durante los 5 años del periodo de estudio.

Un análisis correlacional llevado a cabo, entre el costo de la energía eléctrica en Panamá frente al costo promedio del barril de combustible nos permite ver un leve comportamiento correlacional entre este último y el costo de la factura de clientes con consumos de 500kWh (BTS2) y 1000 kWh (BTS3), obteniéndose coeficientes de correlación de Pearson de $r_{x1y} = 0.366$ y $r_{x2y} = 0.365$, respectivamente con una $p < 0.00417$, lo que refleja una correlación relativamente baja.

Al analizar el coeficiente de variación por combustible se logra identificar comportamientos curiosos, tales como periodos de tiempo en los que no se considera este factor. Para tomar en cuenta esto, se extraen los puntos identificados dentro del periodo en estudio donde el CVC no se utilizó y se encuentra una correlación más fuerte, de $r_{x1y} = 0.70$ y $r_{x2y} = 0.66$, respectivamente con $p < 0.001$. Esto indica que cuando el CVC se utiliza se aprecia de mejor manera la correlación positiva entre la variación del precio del petróleo y el costo de la factura por consumo. Rectas de regresión son encontradas sobre los diagramas de dispersión de las variables correlacionadas, y se encuentra que, en promedio, por un consumo de 100kWh, por cada balboa de incremento en el precio del petróleo, la factura de la luz se incrementa en 7.25 centésimos de balboa.

Observando que algunos meses el CVC actuó a favor de los clientes, producto de un descenso en el costo del petróleo. Mientras que en otros se produjeron sendos descensos en el costo del barril de petróleo, pero el CVC no actuó a favor de los clientes, o no se utilizó. Se plantearon hipótesis de una sola proporción, que se probaron con un nivel de significancia α de 10%. La primera sobre que la proporción de disminución de la factura en clientes BTS2 de 500kWh, cuando el petróleo baja de precio, es menor a 0.5, no pudiéndose rechazar la hipótesis nula y no concluyéndose nada respecto a la hipótesis de investigación. La segunda sobre que la proporción de aumento de la factura en clientes BTS3 de

1000kWh, cuando el petróleo sube es mayor a 0.75, donde tampoco se pudo rechazar la hipótesis nula.

También destacamos que el mercado eléctrico panameño se ve muy influenciado por la administración estatal. Tómese en cuenta el hecho de que en Panamá se subsidió a más del 70% de los clientes, en el periodo de estudio, y actualmente al 93% de los clientes producto de la pandemia del coronavirus, y que en ocasiones se aplican subsidios especiales, algunos a nuestro parecer injustificados, lo que nos hace hipotetizar que el mercado eléctrico panameño tiene una alta dependencia de los fondos estatales y que posiblemente los costos aplicados a los clientes no logran cubrir los costos reales de uso de la red. Esta situación puede desembocar en el aumento de la deuda pública y en el aumento de los costos de energía eléctrica a corto y mediano plazo. Convirtiendo al sector de la energía eléctrica en Panamá, en un sector no tan beneficioso para el desarrollo y crecimiento económico del país.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al SNI por el apoyo brindado a uno de los autores como miembro del Sistema Nacional de Investigación.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener algún conflicto de interés.

CONTRIBUCIÓN Y APROBACIÓN DE LOS AUTORES

S. V. líder del equipo, se encargó del análisis de datos en la parte correlacional, regresión y prueba de hipótesis, contribuyó en la redacción del artículo, estado del arte y búsqueda de referencias, y se encargó de la preparación y corrección del artículo, porcentaje de contribución 50%; C. S. se encargó de parte de la revisión del estado del arte, levantamiento de datos y digitalización de las tarifas, porcentaje de contribución 20%; A.G. se encargó del desarrollo del software de recolección de datos, contribuyó en el análisis de datos y contribuyó en la redacción del artículo, porcentaje de contribución 30%.

Todos los autores afirmamos que se leyó y aprobó la versión final de este artículo.

REFERENCIAS

- [1] C. Zhang, K. Zhou, S. Yang and Z. Shao, "On electricity consumption and economic growth in China", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 76, pp. 353-368, Sep. 2017.
- [2] F. Abbas, N. Choudhury, "Electricity consumption-economic growth Nexus: An aggregated and disaggregated causality analysis in India and Pakistan", *Journal of Policy Modeling*, vol. 35, no. 4, pp. 538-553, Jul. 2013.
- [3] M. Shahbaz, S. Sarwar, W. Chen and M. Nasir Malik, "Dynamics of electricity consumption, oil price and economic growth: Global perspective", *Energy Policy*, vol. 108, no. 9, pp. 256-270, Sep. 2017.
- [4] T. Nakajima and S. Hamori, "Causality-in-mean and causality-in-variance among electricity prices, crude oil prices, and yen-US dollar exchange rates in Japan", *Research in International Business and Finance*, vol. 26, no. 3, pp. 371-386, Ago. 2012.
- [5] H. Mohammadi, "Electricity prices and fuel costs: Long-run relations and short-run dynamics", *Energy Economics*, vol. 31, no. 3, pp. 503-509, Feb. 2009.
- [6] G. Emery, and L. Qingfeng, "An analysis of the relationship between electricity and natural-gas futures prices", *Journal of Futures Markets: Futures, Options, and Other Derivative Products* vol. 22, no. 2, pp. 95-122, Feb. 2002.
- [7] M. P. Muñoz, D. Dickey, "Are electricity prices affected by the US dollar to Euro exchange rate? The Spanish case", *Energy Economics*, vol. 31, no 6, pp. 857-866, Jun. 2009.
- [8] F. Asche, P. Osmundsen, and M. Sandsmark, "The UK market for natural gas, oil and electricity: are the prices decoupled?", *The Energy Journal*, vol. 27, pp. 27-40, no. 9, Abr. 2006.
- [9] D. S. Shalaeva, O. I. Kukartseva, V. S. Tynchenko, V. V. Kukartsev, S. V. Aponasenko, and E. V. Stepanova, "Analysis of the development of global energy production and consumption by fuel type in various regions of the world", *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. vol. 952. no. 1, p. 012025, IOP Publishing, 2020.
- [10] BP global, (2021, Jul. 8), "BP Statistical Review of World Energy – all data 1965 – 2020". [Online]. Disponible en: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>
- [11] Ministerio de Economía y Finanzas, "Análisis del Mercado Eléctrico Panameño". [Online]. Disponible en: <https://www.mef.gob.pa/wp-content/uploads/2020/12/Analisis-del-mercado-electrico-panameno-DIC-2017.pdf>
- [12] Centro Nacional de Despacho, "Informe de Generación Mensual, año 2019". [Online]. Disponible en: <https://www.cnd.com.pa/index.php/informes/categoria/informes-de-mercado?tipo=88&anio=2019>
- [13] R. Espinasa, C. Hinestrosa, C. Sucre, and F. Anaya, "Dossier energético: Panamá", Banco Interamericano de Desarrollo, División de Energía del Departamento de Infraestructura y Medio Ambiente de la Vicepresidencia de Sectores y Conocimiento, dossier no. 6,
- [14] D. Artana, M. Catena, and F. Navajas, "El shock de los precios del petróleo en América Central: implicancias fiscales y energéticas", Banco Interamericano de Desarrollo, Departamento de Investigación, documento no. 624, Ago. 2007.
- [15] G. Lagarda, and J. Linares, "Precios bajos de hidrocarburos: una cuantificación de los beneficios para Centroamérica, Panamá y la República Dominicana", Banco Interamericano de Desarrollo, Departamento de Países de Centroamérica, México, Panamá y República Dominicana, nota técnica no. IDB-TN-1330, Ago. 2017.
- [16] Gaceta Oficial martes 30 de enero de 1996, "Ley 26 del 29 de enero de 1996". [Online]. Disponible en: <https://docs.panama.justia.com/federales/leyes/26-de-1996-jan-30-1996.pdf>
- [17] Gaceta Oficial viernes 24 de febrero de 2006, "Decreto Ley 10 del 22 de febrero de 2006". [Online]. Disponible en: <https://docs.panama.justia.com/federales/decretos-leyes/10-de-2006-feb-24-2006.pdf>
- [18] Gaceta Oficial miércoles 22 de noviembre de 2006, "Decreto Ejecutivo 279 de 14 de noviembre del 2006". [Online]. Disponible en: <https://docs.panama.justia.com/federales/acuerdos/44-de-2006-nov-22-2006.pdf>
- [19] Autoridad Nacional de los Servicios Públicos. "Reglamento de Distribución y Comercialización. TITULO IV: Régimen Tarifario del Servicio Público de Distribución y Comercialización". [Online]. Disponible en: https://www.asep.gob.pa/wp-content/uploads/electricidad/tarifas/07_reglamentos_normas/reglamento_distribucion_comercializacion/titulo_IV.pdf
- [20] Autoridad Nacional de los Servicios Públicos, "Tarifas del Sector Eléctrico: Año 2019-2022". [Online]. Disponible en: https://www.asep.gob.pa/?page_id=177457
- [21] Autoridad Nacional de los Servicios Públicos, "Tarifas del Sector Eléctrico: Año 2014-2018". [Online]. Disponible en: https://www.asep.gob.pa/?page_id=13792
- [22] Datos Macro. "Precio del petróleo OPEP por barril 2019." [Online]. Disponible en: <https://datosmacro.expansion.com/materias-primas/opec>
- [23] Gaceta Oficial miércoles 5 de febrero de 1997, "Ley 6 del 3 de febrero de 1997". [Online]. Disponible en: <https://docs.panama.justia.com/federales/leyes/6-de-1997-feb-5-1997.pdf>
- [24] Gaceta Oficial martes 25 de noviembre de 1997, "Decreto Ejecutivo No. 50 del 14 de noviembre de 1997". [Online]. Disponible en:

- [25] <https://docs.panama.justia.com/federales/decretos-ejecutivos/50-de-1997-nov-25-1997.pdf>
- [26] Centro Nacional de Despacho, “Mercado Eléctrico: Tipos de Participantes”. [Online]. Disponible en: <https://www.cnd.com.pa/index.php/mercado-electrico/acerca-del-mercado-electrico/tipos-de-participantes>
- [27] Autoridad Nacional de los Servicios Públicos, “Concesiones y Licencias”. [Online]. Disponible en: https://www.asep.gob.pa/?page_id=12866
- [28] Ensa, “Area de Concesión”. [Online]. Disponible en: <https://www.ensa.com.pa/area-concesion>
- [29] Naturgy, “Zonas de Concesión”. [Online]. Disponible en: https://www.naturgy.com.pa/pa/hogar/distribucion_electricidad/distribucion_de_electricidad/zonas_de_concesion
- [30] Autoridad Nacional de los Servicios Públicos, “Descripción y condiciones de las Tarifas”. [Online]. Disponible en: https://www.asep.gob.pa/?page_id=13788
- [31] Bnamericas. "Panamá anuncia tarifa eléctrica para primer semestre de 2022." [Online]. Disponible en: Panamá anuncia tarifa eléctrica para primer semestre de 2022 - BNAmericas
- [32] Gaceta Oficial jueves 2 de abril de 2020, “Resolución de Gabinete No. 19, de 31 de marzo de 2020”. [Online]. https://www.gacetaoficial.gob.pa/pdfTemp/28994_A/GacetaNo_28994a_20200402.pdf
- [33] A. García. (2019, Dic. 15), "PanamaHitek/LAmarK." GitHub, 2019. [Online]. Disponible en: <https://github.com/PanamaHitek/LAmarK>.