



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO
CARRERA DE ELECTRICIDAD

**ANÁLISIS MULTIVARIABLE PARA LA
EVALUACIÓN DEL SUBSIDIO ELÉCTRICO
CONSIDERANDO EL CONSUMO
RESIDENCIAL Y EL CRECIMIENTO
POBLACIONAL EN EL PERÍODO 2016-2022**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero Eléctrico

AUTOR: CARLOS ANDRES LOPEZ JACOME

TUTOR: CRISTIAN CRISTÓBAL CUJI CUJI

Quito -Ecuador

2025

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Yo, Carlos Andrés López Jácome con documento de identificación N° 1752080513 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 18 de marzo del año 2025

Atentamente,



Carlos Andrés López Jácome
1752080513

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Yo, Carlos Andrés López Jácome con documento de identificación No. 1752080513, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Artículo Académico: “Análisis multivariable para la evaluación del subsidio eléctrico considerando el consumo residencial y el crecimiento poblacional en el período 2016-2022”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 18 de marzo del año 2025

Atentamente,



Carlos Andrés López Jácome

1752080513

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Cristian Cristóbal Cuji Cuji con documento de identificación N° 1718002221, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS MULTIVARIABLE PARA LA EVALUACIÓN DEL SUBSIDIO ELÉCTRICO CONSIDERANDO EL CONSUMO RESIDENCIAL Y EL CRECIMIENTO POBLACIONAL EN EL PERÍODO 2016-2022, realizado por Carlos Andrés López Jácome con documento de identificación N° 1752080513, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Artículo académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 18 de marzo del año 2025

Atentamente,



Ing. Cristian Cristóbal Cuji Cuji, MSc
1718002221

ÍNDICE GENERAL

1	Introducción	2
2	Marco teórico.....	4
2.1	Subsidio eléctrico.....	4
2.1.1	Tarifa Dignidad.....	4
2.1.2	Ley de Adultos Mayores.....	4
2.1.3	Ley Orgánica de Discapacidades	4
2.1.4	Programa de Eficiente Cocción (PEC).....	4
2.2	Consumo residencial de energía eléctrica.....	5
2.3	Crecimiento poblacional.....	5
2.4	Análisis multivariable.....	5
2.4.1	Análisis de correlación.....	5
2.4.2	Pruebas de normalidad.....	6
2.4.3	Tipos de correlación.....	7
2.4.4	Prueba de hipótesis para una correlación.....	7
2.4.5	Valores críticos para una prueba de hipótesis.	8
2.4.6	Modelo de regresión lineal múltiple	8
2.4.7	Modelo de ecuaciones de estimación generalizadas (GEE).....	8
3	Casos de estudio.....	8
3.1	Caso 1: Datos clasificados por empresas distribuidoras.....	8
3.1.1	Consumo residencial por empresa distribuidora	9
3.1.2	Clientes residenciales por empresa distribuidora	10
3.1.3	Energía subsidiada por el programa PEC por empresa distribuidora.....	11
3.2	Caso 2: Datos clasificados por años	12
3.2.1	Población a nivel nacional.....	12
3.2.2	Clientes del programa PEC	12
3.2.3	Consumo residencial de energía eléctrica	12
3.2.4	Consumo residencial de GLP.....	13
3.3	Planteamiento del problema	13
4	Análisis de resultados.....	15
4.1	Resultados Caso 1	15
4.1.1	Pruebas de normalidad.....	16
4.1.2	Coeficientes de correlación.....	16
4.1.3	Significancia de la correlación.....	17
4.1.4	Diseño del modelo GEE	17

4.2	Resultados Caso 2	18
4.2.1	Pruebas de normalidad.....	18
4.2.2	Coeficientes de correlación.....	19
4.2.3	Significancia de las correlaciones.....	20
4.2.4	Impacto del subsidio en el GLP.....	20
4.2.5	Proyección del consumo del GLP.....	20
4.2.6	Proyección de la demanda residencial	21
4.3	Resumen de resultados	22
4.3.1	Resumen de resultados (Caso 1).....	22
4.3.2	Resumen de resultados (Caso 2).....	23
4.3.3	Comparación entre caso 1 y caso 2.....	23
5	Conclusiones.....	24
6	Trabajos futuros.....	25
7	Referencias.....	25
7.1	Matriz de Estado del Arte	29
7.2	Resumen de Indicadores.....	31
8	Anexos.....	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Procedimiento para análisis multivariable.....	4
Figura 2.	Clasificación de análisis multivariable.	5
Figura 3.	Diagrama de flujo para análisis de correlación.....	6
Figura 4.	Prueba t-Student para una prueba de hipótesis en una correlación.....	8
Figura 5.	Consumo residencial por empresa distribuidora (kWh/consumidor).	9
Figura 6.	Consumo residencial total en GWh.	9
Figura 7.	Número de clientes residenciales por empresa distribuidora.....	10
Figura 8.	Número de clientes residenciales a nivel nacional.	10
Figura 9.	Energía subsidiada por empresa distribuidora (GWh).....	11
Figura 10.	Energía subsidiada a nivel nacional (GWh).	11
Figura 11.	Diagrama de flujo para realizar un análisis multivariable	15
Figura 12.	Matriz de correlación de Spearman (Caso 1).....	16
Figura 13.	Estimación de la energía subsidiada.	18
Figura 14.	Matriz de correlación de Spearman (Caso 2).....	19
Figura 15.	Impacto del subsidio en el consumo del GLP.....	20
Figura 16.	Proyección del consumo residencial de GLP.	21
Figura 17.	Proyección de la demanda residencial (GWh).....	22
Figura 18.	Resumen e indicador de la temática - Estado del arte.	31
Figura 19.	Indicador de formulación del problema - Estado del arte.....	31
Figura 20.	Indicador de solución - Estado del arte.....	32

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos registrados de la población a nivel nacional.	12
Tabla 2. Datos registrados de los clientes del Programa PEC.	12
Tabla 3. Datos registrados del consumo residencial a nivel nacional.	13
Tabla 4. Datos registrados del consumo residencial de GLP a nivel nacional.	13
Tabla 5. Descripción de las variables consideradas.	13
Tabla 6. Algoritmo para análisis multivariable.	14
Tabla 7. Resultados de la prueba Kolmogórov-Smirnov.	16
Tabla 8. Nivel de relevancia de “rs” (Caso 1).	17
Tabla 9. Nivel de importancia de las variables del modelo GEE.	17
Tabla 10. Coeficientes del modelo GEE.	17
Tabla 11. Error del modelo GEE (Caso 1).	18
Tabla 12. Resultados de la prueba “Shapiro Wilk”.	19
Tabla 13. Nivel de relevancia de “rs” (Caso 2).	20
Tabla 14. Error del modelo de regresión lineal simple.	21
Tabla 15. Nivel de significancia de las variables independientes (Caso 2).	21
Tabla 16. Coeficientes del modelo GEE (Caso 2).	21
Tabla 17. Error del modelo GEE (Caso 2).	22
Tabla 18. Coeficientes de correlación (Caso 1).	22
Tabla 19. Resultados del modelo GEE (Caso 1).	22
Tabla 20. Coeficientes de correlación (Caso 2).	23
Tabla 21. Resultados del modelo GEE (Caso 2).	23
Tabla 22. Comparación de modelos GEE.	23
Tabla 23. Comparación de errores RMSE y MAE.	24
Tabla 24. Matriz de estado del arte.	29
Tabla 25. Energía subsidiada por empresa distribuidora 2016 [40].	33
Tabla 26. Energía subsidiada por empresa distribuidora 2017 [41].	33
Tabla 27. Energía subsidiada por empresa distribuidora 2018 [39].	33
Tabla 28. Energía subsidiada por empresa distribuidora 2019 [37].	33
Tabla 29. Energía subsidiada por empresa distribuidora 2020 [38].	34
Tabla 30. Energía subsidiada por empresa distribuidora 2021 [36].	34
Tabla 31. Energía subsidiada por empresa distribuidora 2022 [18].	34
Tabla 32. Consumo residencial promedio por empresa distribuidora 2016 [40].	35
Tabla 33. Consumo residencial promedio por empresa distribuidora 2017 [41].	35
Tabla 34. Consumo residencial promedio por empresa distribuidora 2018 [39].	35
Tabla 35. Consumo residencial promedio por empresa distribuidora 2019 [37].	35
Tabla 36. Consumo residencial promedio por empresa distribuidora 2020 [38].	36
Tabla 37. Consumo residencial promedio por empresa distribuidora 2021 [36].	36
Tabla 38. Consumo residencial promedio por empresa distribuidora 2022 [18].	36
Tabla 39. Clientes residenciales por empresa distribuidora 2016 [40].	37
Tabla 40. Clientes residenciales por empresa distribuidora 2017 [41].	37
Tabla 41. Clientes residenciales por empresa distribuidora 2018 [39].	37
Tabla 42. Clientes residenciales por empresa distribuidora 2019 [37].	37
Tabla 43. Clientes residenciales por empresa distribuidora 2020 [38].	38
Tabla 44. Clientes residenciales por empresa distribuidora 2021 [36].	38
Tabla 45. Clientes residenciales por empresa distribuidora 2022 [18].	38

ANÁLISIS MULTIVARIABLE PARA LA EVALUACIÓN DEL SUBSIDIO ELÉCTRICO CONSIDERANDO EL CONSUMO RESIDENCIAL Y EL CRECIMIENTO POBLACIONAL EN EL PERÍODO 2016-2022

Resumen

El presente artículo está enfocado en evaluar el subsidio del Programa Eficiente de Cocción (PEC) en el período 2016-2022, donde se determina el impacto y la eficacia de este subsidio en el Ecuador. Lo cual es logrado por medio de un análisis de la conexión existente entre el consumo residencial, el tamaño población y la energía subsidiada por el programa mediante una metodología que combina pruebas de normalidad, análisis de correlación, pruebas de significancia y el modelo de ecuaciones de estimación generalizadas (GEE). Para realizar este trabajo de investigación, en el presente documento se analizan dos casos de estudio, donde en el primer caso se enfoca en determinar la eficacia del subsidio en los consumidores residenciales y el segundo caso se enfoca en determinar el efecto del subsidio en el consumo residencial anual del GLP.

Palabras Clave: Análisis multivariable, distribución normal, prueba t-student, p-valor, valores críticos, región de aceptación, subsidio eléctrico.

Abstract

This article focuses on evaluating the subsidy of the Efficient Cooking Program (PEC) during the period 2016-2022, where the impact and effectiveness of this subsidy in Ecuador are determined. This is achieved through an analysis of the connection between residential consumption, population size, and the energy subsidized by the program, using a methodology that combines normality tests, correlation analysis, significance tests, and the generalized estimating equations (GEE) model. To conduct this research, the document analyzes two case studies: the first case focuses on determining the effectiveness of the subsidy for residential consumers, and the second case examines the effect of the subsidy on annual residential LPG consumption.

Keywords: Multivariate analysis, normal distribution, t-student test, p-value, critical values, acceptance region, electricity subsidy.

1 Introducción

En esta investigación se propone realizar un análisis del subsidio eléctrico en el Ecuador, donde se toma en cuenta factores como el consumo eléctrico en el sector residencial y el crecimiento poblacional del país. El enfoque de este trabajo se centra en pruebas paramétricas y no paramétricas que analicen y demuestren el nivel y tipo de relación que hay entre las variables seleccionadas, con el objetivo de determinar la eficacia del subsidio del Programa de Eficiente Cocción, PEC en el período 2016-2022.

Es importante resaltar que estas pruebas pueden ser significativas o no significativas. Por lo cual es necesario tomar en cuenta los intervalos de confianza y así poder establecer que existe información suficiente para afirmar o descartar la hipótesis nula establecida.

Con la finalidad de sustentar el presente estudio, existen varios artículos e investigaciones científicas que han estudiado el crecimiento demográfico y como afecta a la demanda actual. Además, de métodos para la evaluación de subsidios y modelos que estudian la demanda eléctrica.

En [1] los autores proponen un análisis exhaustivo del consumo de energía eléctrica en sistemas integrados. El objetivo de su propuesta es mejorar la eficiencia energética de dichos sistemas. Para ello los autores se basan en analizar la medición del consumo energético, mediante perfiles energéticos desarrollados a partir de mediciones y estimaciones de la energía basadas en modelos y simuladores.

Además, en [2] los autores proponen el Physical-data Fusion Modeling (PFM), para evaluar el consumo de energía en edificios inteligentes. Su objetivo principal es estimar con mayor eficiencia la

respuesta a la demanda, para aportar beneficios al sistema eléctrico. Para ello, los autores se basan en una metodología que combina un modelo de proceso térmico y un modelo de carga eléctrica para posteriormente utilizar el PFM.

Por otro lado, en [3] los autores proponen un modelo dinámico, para examinar y comparar la influencia de diferentes subsidios en la inserción de energía renovable. Para ello, los autores se basan en simular la capacidad de generación, teniendo en cuenta la conexión de la energía renovable, entre 2020 y 2040 bajo nuevas combinaciones de subsidios fotovoltaicos.

Además, en [4] los autores proponen un modelo matemático de asignación que sea factible, para establecer el subsidio del consumo de combustible de autobuses. Para ello los autores se basan en determinar la influencia de varios factores que afectan al consumo de combustibles y se diseña un sistema de índices de evaluación.

Por otra parte, en [5] los autores proponen un modelo de índice exponencial negativo y un análisis de autocorrelación espacial local, para examinar las tendencias del crecimiento de la población. Para ello los autores se basan en combinar análisis comparativos con la situación en el año 2000.

Además, en [6] los autores proponen un método cuantitativo para realizar los pronósticos de la demanda a través de la teoría de la curva de crecimiento. Para ello los autores se basan en comprobar que los datos se ajusten a la curva logística y evaluar de manera objetiva la aplicación del método con cálculos bastante simples.

En [7] los autores proponen un modelo de cadena de suministro para productos

electrónicos de consumo considerando la maximización de la demanda interna para analizar los subsidios de los productos electrónicos implementados por el gobierno chino. Para ello los autores identifican dos modelos existentes, los cuales son los subsidios por fijación de precios y los subsidios por cuotas.

En cambio, en [8] se propone un análisis de las decisiones de los miembros antes y después del programa financiado por el gobierno. Para ello los autores comparan los beneficios de los consumidores y los fabricantes mediante una explicación detallada de como los subsidios influyen en las decisiones y beneficios dentro de un circuito cerrado.

En [9] los autores proponen un método para evaluar la tarifa eléctrica impuesta considerando las características reales de la red para grandes cargas industriales. Para ello los autores se basan en un caso de simulación que muestra la implementación de este método para evaluar las tarifas eléctricas impuestas para la tecnología de planta virtual.

Además, los autores en [10] proponen un método que se aplica a los resultados de varios estudios como método de descomposición de corriente de rama, método basado en el valor de Shapley y el método basado en el valor T. Para ello los autores se basan en tres sistemas de pruebas diferentes y modela la red de distribución y la coalición de cargas y generadores distribuidos.

En cambio, en [11] el autor propone modelar la probabilidad de venta como una función decreciente de precio y disponibilidad para establecer el subsidio de devolución y el precio de venta óptimos. Para ello los autores presentan un ejemplo numérico y un análisis de sensibilidad para validar el modelo propuesto, destacando su contribución al establecer una política de precios óptima.

Además, en [12] el autor propone un análisis detallado considerando distintos escenarios de precios y rendimientos del sistema. Para ello el autor calcula el tiempo de recuperación además de la rentabilidad de la inversión en condiciones de mercado libre.

Este documento se dividirá en introducción, marco teórico, caso de estudio, planteamiento del problema, pseudocódigo, análisis de resultados, conclusiones y trabajos futuros. Cabe destacar el procedimiento para análisis multivariable, que se muestra en la Figura 1, ya que este nos permite entender el proceso que se va a realizar para obtener los coeficientes de correlación y del modelo multivariable; este procedimiento nos dice que tenemos que registrar los datos (consulta de bases de datos), ingresarlos al sistema (pseudocódigo) y finalmente analizar los resultados con el fin de determinar cuál de las dos variables es más influyente y eficaz.



Figura 1. Procedimiento para análisis multivariable

2 Marco teórico

2.1 Subsidio eléctrico

El subsidio eléctrico es una ayuda financiera que beneficia a los usuarios de las empresas eléctricas distribuidoras, con el objetivo de promover políticas económicas y sociales [13]. En el Ecuador los subsidios vigentes entregados por el Estado se describen a continuación.

2.1.1 Tarifa Dignidad

Este subsidio beneficia a los usuarios residenciales que consumen menos de 110 kWh en la Sierra y hasta 130 kWh en el resto de las regiones del país [14].

2.1.2 Ley de Adultos Mayores

Este subsidio beneficia a las personas mayores de 65 años, exonerando la mitad del valor consumido hasta 138 kWh [14], [15].

2.1.3 Ley Orgánica de Discapacidades

Este subsidio beneficia a las personas que presenten alguna discapacidad con la exoneración de la mitad del valor consumido hasta la mitad del salario básico unificado [14], [16].

2.1.4 Programa de Eficiente Cocción (PEC)

Este subsidio beneficia a los usuarios residenciales que dispongan y utilicen únicamente cocinas de inducción, únicamente sistemas eléctricos para calentar el agua o a los usuarios que dispongan ambos equipos. Este programa funciona en base al consumo incremental mensual de las tarifas residenciales y se aplica de la siguiente manera [14], [17], [18].

Para usuarios con cocinas de inducción: el estado subsidia hasta un consumo incremental mensual de energía eléctrica de 80 kWh.

Para usuarios con calentamiento de agua: el estado subsidia hasta un consumo incremental mensual de 20 kWh.

Para usuarios con ambos servicios: el estado subsidia hasta un consumo incremental mensual de 100 kWh [14], [17], [18].

El consumo incremental por mes se calcula de la siguiente forma.

$$CI = C_n - C_{base} \quad (1)$$

Donde:

- CI: Es el consumo incremental.
- Cn: Es el consumo perteneciente del mes correspondiente.

- C base: Es el consumo resultante de un análisis estadístico con los datos históricos del consumidor [17], [18].

2.2 Consumo residencial de energía eléctrica

La demanda que suponen los equipos eléctricos en el Ecuador se divide principalmente en consumo industrial, consumo comercial, consumo residencial y otros [19].

El consumo residencial hace referencia a los consumos finales de energía eléctrica para los hogares urbanos y rurales de un país normalmente medido por (GWh) o (kWh/habitante). Este consumo es influenciado principalmente por la demanda de equipos electrodomésticos como duchas eléctricas, microondas, cocinas de inducción entre otros [19].

2.3 Crecimiento poblacional

El crecimiento poblacional o demográfico en varias partes del mundo tiene altas tasas de crecimiento, mientras que en otras se mantienen estáticas o incluso decrecientes. Sin embargo, aunque se cumplan estas proyecciones no hay razón para que los procesos migratorios finalicen o para confirmar que la magnitud de la población se mantendrá constante [20], [21].

Se han realizado varios estudios para confirmar que el crecimiento poblacional influye de manera considerable en la demanda de agua, electricidad y combustible, con el objetivo de poder realizar pronósticos o estudios acerca de su comportamiento. Como por ejemplo Schutte y Pretorius indican que el crecimiento poblacional destaca entre los elementos más influyentes para el consumo de agua. Lo cual es corroborado por Ahmad y Prashar, donde expresan que el crecimiento demográfico es el principal motor que gobierna la demanda de agua [22].

$$r = \left(\sqrt[t]{\frac{P_t}{P_0}} - 1 \right) * 100 \quad (2)$$

Donde:

- r: Es la tasa de crecimiento anual acumulativa.
- P_t : Es la población final.
- P_0 : Es la población inicial.
- t: Es el número de años.

2.4 Análisis multivariable

Un análisis multivariable es definido como la combinación de pruebas estadísticas que estudian y analizan el efecto de al menos dos variables independientes sobre una variable dependiente simultáneamente [23].

En la Figura 2 se exhibe la clasificación de varios análisis considerando el número de variables dependientes e independientes, además de tomar en cuenta la multicolinealidad (correlación entre variables independientes), lo que permite determinar el modelo más adecuado según sea el caso de estudio.

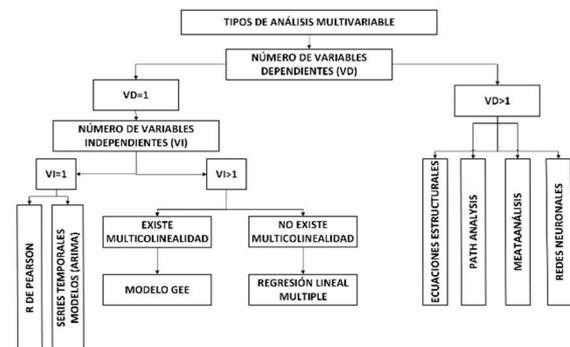


Figura 2. Clasificación de análisis multivariable.

2.4.1 Análisis de correlación

Para determinar si existe una relación significativa entre las variables estudiadas se debe realizar un análisis de correlación, en el cual se identifica si se cumplen los supuestos de cada modelo. En la Figura 3 se exhibe un diagrama de flujo el cual manifiesta el procedimiento para determinar el tipo de correlación que se

debe utilizar, mediante pruebas de normalidad (Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk) y una prueba de correlación o significancia (prueba t-student).

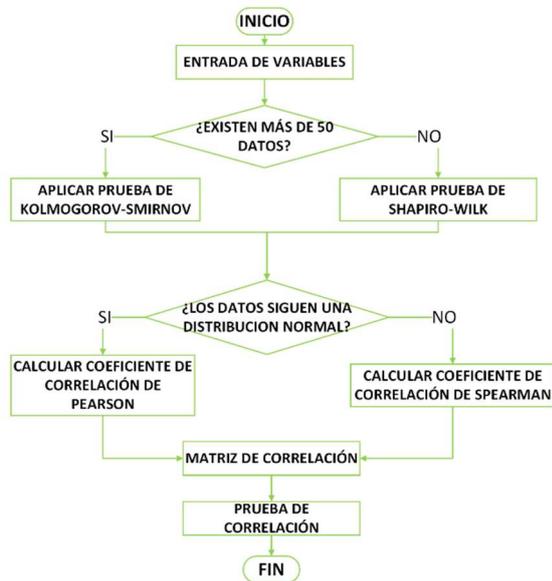


Figura 3. Diagrama de flujo para análisis de correlación.

2.4.2 Pruebas de normalidad

Las pruebas de normalidad son importantes para realizar modelos de predicción o inferencia, ya que para algunos de estos modelos es necesario demostrar que siguen una distribución normal para predecir o relacionar con más exactitud las variables seleccionadas [24]. Algunas de estas pruebas se describen a continuación.

2.4.2.1 Kolmogorov-Smirnov

Esta prueba asume que $F_1(x)$ y $F_2(x)$ siguen una misma distribución y son funciones continuas, además debe ser aplicada en casos que presenten una gran cantidad de datos y acepta o rechaza una hipótesis mediante el cálculo del p-valor, el cual se compara con un criterio predefinido [25].

En esta prueba se establecen dos hipótesis contrarias, donde la primera de ellas debe manifestar que la variable presenta una tendencia a seguir una distribución específica y la segunda debe decir que no

se evidencia ningún patrón ni tendencia en el caso que se esté evaluando [25].

$$D_{n2,n1} = \sup|F_{2n1}(x) - F_{1n2}(x)| \quad (3)$$

Donde:

F_{2n1} : Es la distribución hipotética

$F_{1n2}(x)$: Son los valores esperados de las variables independientes.

\sup : Significa “supremum” que quiere decir el mayor.

2.4.2.2 Shapiro-Wilk

Esta prueba verifica la normalidad de los factores evaluados y se aplica cuando el espacio muestral es menor a cincuenta. Esta fue la primera prueba capaz de detectar desviaciones de la distribución normal debido a asimetría o curtosis, además de destacar por sus buenas propiedades de potencia [26].

Esta prueba declara que las variables evaluadas presentan una distribución normal si el p-valor calculado es mayor al valor de alfa establecido.

$$W = \frac{\sum_{i=1}^n (a_i y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (4)$$

Donde:

$$a_i: \frac{m^T V^{-1}}{(m^T V^{-1} V^{-1} m)^{1/2}}$$

m : Son los valores esperados de las variables distribuidas normalmente y V es la matriz de covarianza.

y_i : Datos de la variable y .

\bar{y} : Valor medio para datos de la variable y .

2.4.3 Tipos de correlación

El estudio de correlación de variables se basa en analizar el tipo de vínculo entre dos elementos con el fin de establecer si son dependientes o no entre ellos. Para esto, se calcula el coeficiente de correlación, el cual indica que si tiene un valor de cero son variables independientes y si tiene un valor absoluto de uno, son variables completamente dependientes [27]. Algunos tipos de correlación se describen a continuación.

2.4.3.1 Correlación de Pearson (rp)

Esta correlación es la más utilizada y se aplica cuando los datos tienden a seguir una distribución normal. Este tipo de correlación mide la relación lineal entre las variables con el propósito de descubrir patrones, medir la conexión que existe entre los factores y proporcionar información que ayude a tomar medidas frente a problemas según sea el caso de estudio, como por ejemplo la duración de fallas en el suministro eléctrico frente a factores climáticos [28].

$$r_p = \frac{n(\sum cd) - (\sum c)(\sum d)}{\sqrt{[n(\sum c^2) - (\sum c)^2][n(\sum d^2) - (\sum d)^2]}} \quad (5)$$

Donde:

- c: representa el primer grupo de datos.
- d: representa el segundo grupo de datos.
- n: es la cantidad de datos de cada variable.

2.4.3.2 Correlación de Spearman (rs)

Esta correlación indica el grado de correspondencia de dos componentes con la peculiaridad de que los mismos no necesariamente deben seguir una distribución normal y es menos sensible con valores atípicos.

Este tipo de correlación se basa en el rango de observaciones y mide la relación lineal o no lineal entre las variables mientras siga

una distribución monótona ya sea ascendente o descendente. [29].

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^N (x_{i,r} - y_{i,r})^2}{N(N^2 - 1)} \quad (6)$$

Donde:

- $x_{i,r}$: Representa el primer grupo de datos.
- $y_{i,r}$: Representa el segundo grupo de datos.
- N : Es la cantidad de datos de cada grupo.

2.4.4 Prueba de hipótesis para una correlación

2.4.4.1 Prueba t-student

Esta prueba puede seguir una distribución univariante o multivariada y es capaz de modelar como actúan colas pesadas no gaussianas y las dependencias en un entorno bivariado [30]. Mediante esta prueba se calcula el t estadístico, el cual es un criterio que se aplica en un conjunto de datos para aceptar o rechazar una hipótesis. En el caso de un análisis de correlación se aplica la siguiente fórmula [31].

$$t = \frac{r}{\sqrt{\frac{1 - r^2}{n - 2}}} \quad (7)$$

Donde:

- r: es el valor de la correlación.
- n: es la cantidad de datos de cada variable.

Para determinar si la prueba tiene una correlación significativa se calcula el p-valor, lo cual nos muestra la probabilidad de que los datos estén correlacionados por casualidad. Si el p-valor calculado es menor al valor de alfa quiere decir que existe una correlación significativa entre los datos evaluados [31], [32].

2.4.5 Valores críticos para una prueba de hipótesis.

Estos valores brindan información para afirmar o rechazar una hipótesis, si estos valores son mayores al estadístico de prueba se puede afirmar que las variables están correlacionadas. En la Figura 4 se puede apreciar con mayor exactitud el papel que interpretan los valores críticos en un análisis de correlación.

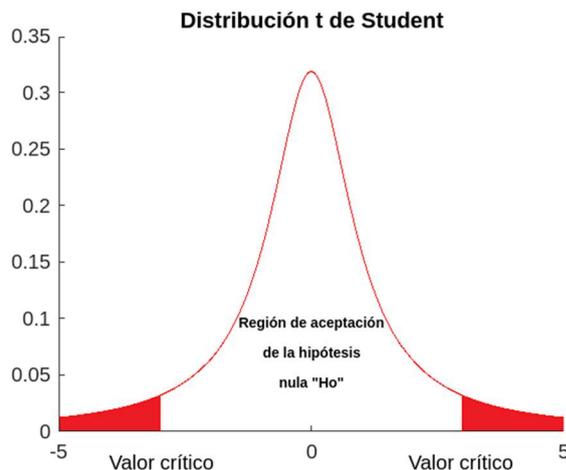


Figura 4. Prueba t-Student para una prueba de hipótesis en una correlación.

2.4.6 Modelo de regresión lineal múltiple

Se define como modelo de regresión lineal múltiple cuando se tiene dos o más variables independientes que aporten al modelo de regresión de manera que estas variables sirvan para predecir el valor de la variable dependiente [23], [33].

$$y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_pX_p \quad (8)$$

Donde:

- b_1, b_2, b_p : Son los coeficientes calculados del modelo.
- X_1, X_2, X_p : Son las variables independientes.
- b_0 : Es la intercepción con y.
- y: Es la variable dependiente.

Para evaluar este modelo es importante tomar en cuenta el R cuadrado ajustado el cual indica el nivel de precisión del modelo [23], [33].

$$R_a^2 = 1 - \left[\left(\frac{n-1}{n-k-1} \right) * (1 - R^2) \right] \quad (9)$$

Donde:

- n: Es el número de muestras.
- R^2 : Es el coeficiente de determinación.
- k: Es el número de variables independientes.
- R_a^2 : Es el coeficiente de determinación ajustado.

2.4.7 Modelo de ecuaciones de estimación generalizadas (GEE)

Este modelo se utiliza cuando las medidas de las variables se repiten en un período de tiempo y existe una correlación significativa entre las variables independientes. Además, el modelo GEE es capaz de determinar la relación existente en un entorno multivariado tomando en cuenta su evolución en períodos anuales, mensuales, etc. [34], [35].

$$y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 \dots + b_pX_p + \epsilon \quad (10)$$

Donde:

- b_1, b_2, b_p : Representa los coeficientes calculados del modelo.
- X_1, X_2, X_p : Representa las variables independientes.
- b_0 : Es la intercepción con y.
- y: Es la variable dependiente.
- ϵ : Es el error aproximado del modelo.

3 Casos de estudio

3.1 Caso 1: Datos clasificados por empresas distribuidoras

Para realizar este caso de estudio a nivel nacional durante el período 2016-2022, se va a realizar un análisis multivariable con el fin de determinar cuál es el factor que más influye en el comportamiento de la energía subsidiada tomando en cuenta los datos del consumo promedio mensual en el sector residencial, el número de clientes residenciales y la energía subsidiada por el programa PEC, los cuales son clasificados

por cada empresa distribuidora del Ecuador. A continuación, se describe el comportamiento de cada variable para este caso de estudio.

3.1.1 Consumo residencial por empresa distribuidora

La evolución del consumo promedio mensual en el sector residencial por empresa distribuidora es visible en la Figura 5, donde se evidencia que todas las empresas aumentaron su nivel de consumo en el año 2020 con respecto al año 2019 a excepción de la E.E Riobamba, Galápagos y CNEL-Esmeraldas. Además, la figura indica que la empresa que cumple con una mayor demanda en este período de tiempo es CNEL-Guayaquil con un promedio de

“216,48 (kWh/consumidor)”, seguido por CNEL-Guayas Los Ríos con un promedio de “192,49 (kWh/consumidor)” y en tercer lugar la distribuidora Galápagos con un promedio de “170,79 (kWh/consumidor)” [18], [36], [37], [38], [39], [40], [41].

Los datos de la demanda residencial total clasificado por años se exhibe en la Figura 6, donde se indica que el año 2020 fue el año con mayor demanda debido a la pandemia del COVID-19, lo cual produjo a su vez una disminución en la demanda comercial e industrial [19].

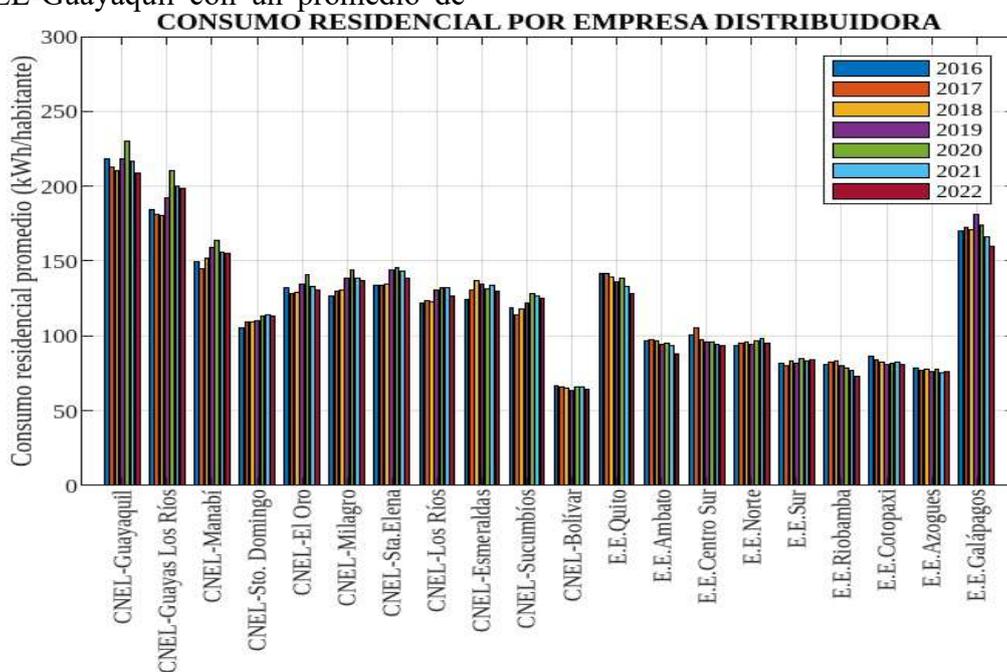


Figura 5. Consumo residencial por empresa distribuidora (kWh/consumidor).

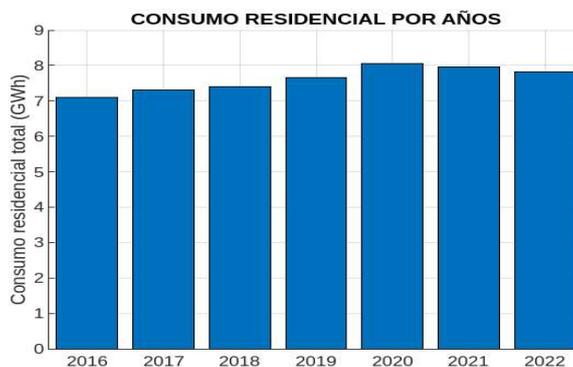


Figura 6. Consumo residencial total en GWh.

3.1.2 Clientes residenciales por empresa distribuidora

El progreso del número de clientes residenciales por cada empresa distribuidora a través de este período se manifiesta en la Figura 7, la cual nos indica que todas las empresas alcanzaron su mayor número de clientes residenciales el año 2022 a excepción de las empresas CNEL-Guayaquil y CNEL-Guayas los Ríos. Además, en la figura se observa que la E.E. Quito es la empresa que cuenta con más clientes con un total de “1.076.269

(clientes)”, seguido por CNEL-Guayaquil con “628.705 (clientes)” y la E.E. Centro Sur respectivamente con “383.802 (clientes)” el año 2022 [18], [36], [37], [38], [39], [40], [41]. También, en la Figura 8 se observa la evolución del número de clientes residenciales a nivel nacional donde nos indica que año tras año este número va aumentando debido al crecimiento poblacional [18], [36], [37], [38], [39], [40], [41].

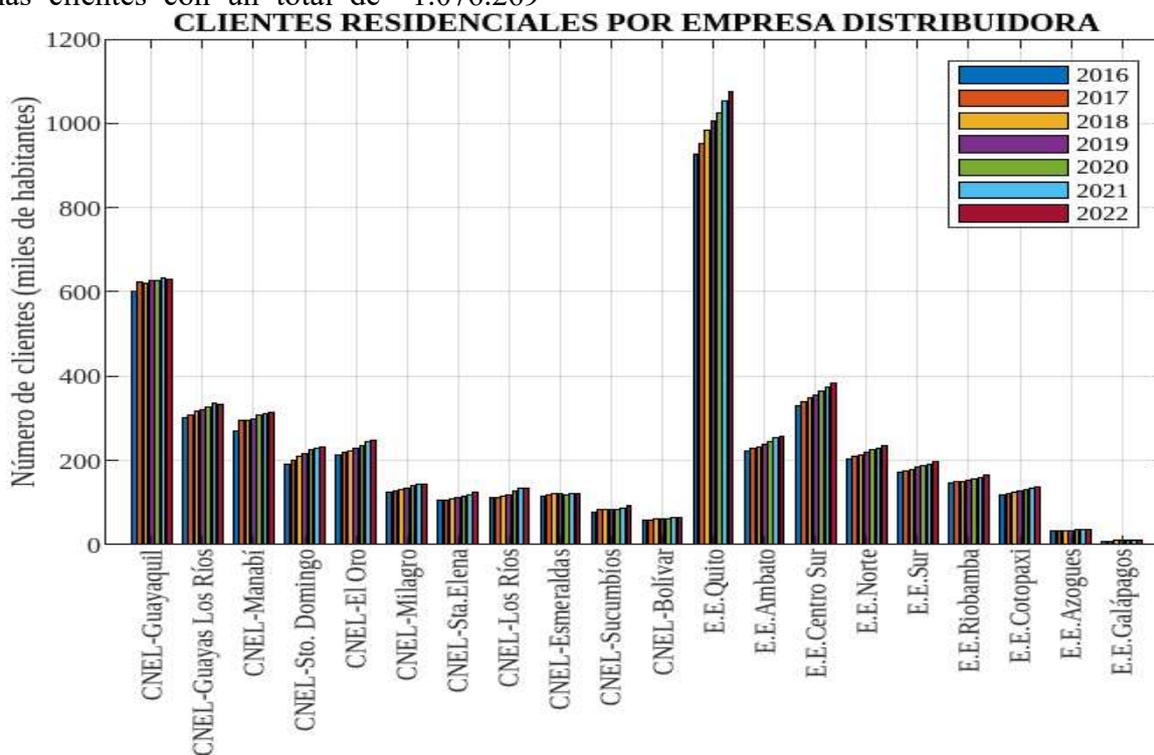


Figura 7. Número de clientes residenciales por empresa distribuidora.



Figura 8. Número de clientes residenciales a nivel nacional.

3.1.3 Energía subsidiada por el programa PEC por empresa distribuidora

La energía total subsidiada por empresa distribuidora es expuesta en la Figura 9, donde nos indica que todas las empresas alcanzaron su valor máximo el año 2020, a excepción de la E.E Galápagos, la E.E Cotopaxi y CNEL-Guayaquil. Además, se manifiesta que la E.E. Quito es la empresa que más energía subsidia al año con un promedio de “66,73 (GWh)” seguido por CNEL-Guayaquil con un promedio de

“43,08 (GWh)” y CNEL-Guayas Los Ríos respectivamente con un promedio de “25,10 (GWh)” [18], [36], [37], [38], [39], [40], [41].

Además, en la Figura 10 se observa que el año 2020 fue en el que más energía se subsidió por el programa PEC a nivel nacional, principalmente causado por la pandemia del COVID 19, la cual ocasionó que aumente la demanda de cocinas de inducción y sistemas eléctricos para calefacción de agua [18], [36], [37], [38], [39], [40], [41].

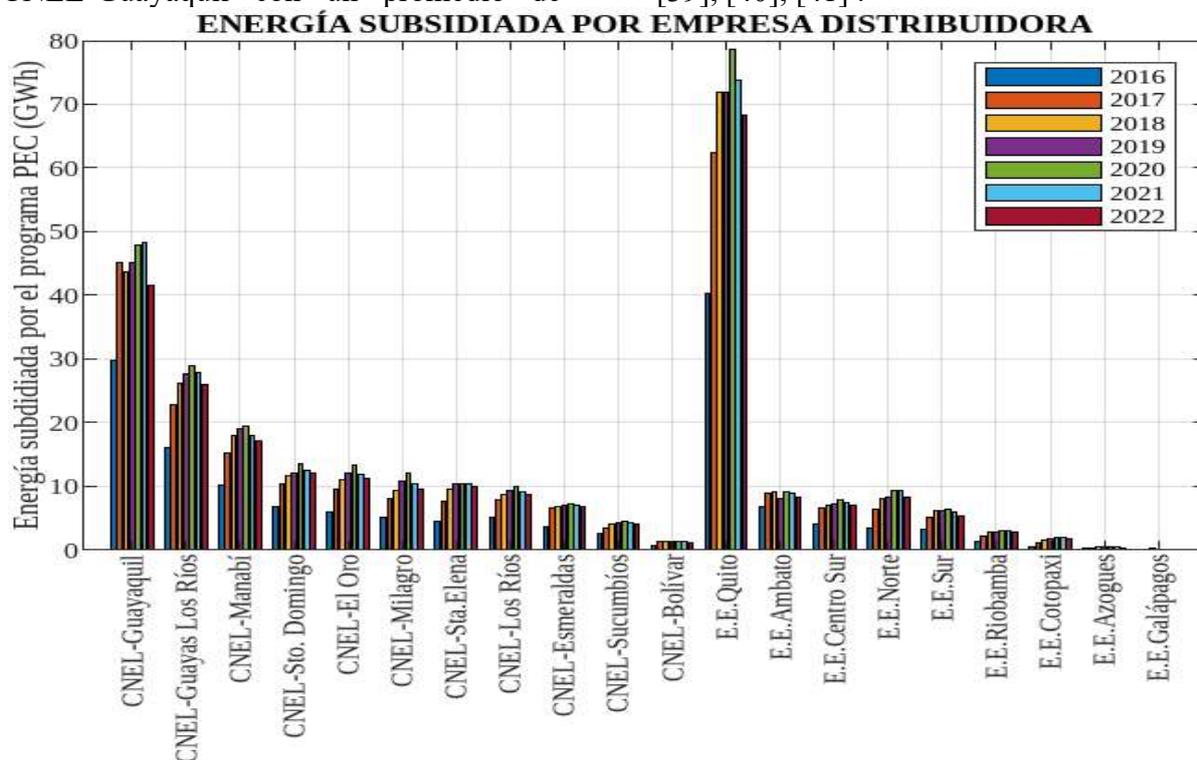


Figura 9. Energía subsidiada por empresa distribuidora (GWh).

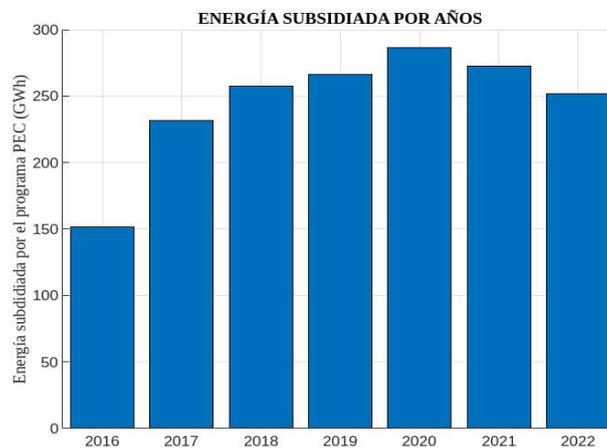


Figura 10. Energía subsidiada a nivel nacional (GWh).

3.2 Caso 2: Datos clasificados por años

En este caso se va a evaluar el impacto del subsidio en el consumo del GLP y en la demanda residencial anual tomando en cuenta el tamaño de la población y el número de clientes del programa PEC. Sin embargo, hay que tener en cuenta que, al no considerar la variabilidad de los datos en todo el año, los resultados pueden ser no tan precisos como cuando se tiene una gran base de datos.

Además, con el fin de evidenciar lo que significaría que los clientes del Programa PEC sigan disminuyendo, se realizó dos proyecciones tanto del consumo residencial total de energía eléctrica como del consumo del GLP para el año 2025. A continuación, se describe el comportamiento de las variables para este caso de estudio.

3.2.1 Población a nivel nacional

Durante el período 2012-2022 el número de habitantes del país ha ido aumentando progresivamente, donde pasó de 15.5 millones de habitantes en el año 2012 a aproximadamente 18 millones de habitantes el año 2022, lo cual representa una tasa de crecimiento anual acumulativa de 1,35%. Los datos del crecimiento poblacional se exhiben en la Tabla 1 [19].

Tabla 1. Datos registrados de la población a nivel nacional.

AÑO	POBLACIÓN (miles de habitantes)
2012	15521
2013	15775
2014	16027
2015	16279
2016	16529
2017	16777
2018	17023
2019	17268

2020	17511
2021	17751
2022	17990

3.2.2 Clientes del programa PEC

En la Tabla 2 se puede observar la evolución del número de clientes del programa PEC donde se evidencia un incremento de clientes hasta el año 2018. Sin embargo, al no cumplir el objetivo de reemplazar 3.000.000 de cocinas a gas por cocinas de inducción, el estado decidió poner en duda el incentivo tarifario para el año 2019. Por lo cual muchas personas dejaron de utilizar estos equipos y hasta el año 2022, a pesar de que el estado continuó con el subsidio, el número de clientes del programa sigue disminuyendo [18], [36], [37], [38], [39], [40], [41].

Tabla 2. Datos registrados de los clientes del Programa PEC.

AÑO	Clientes PEC (miles de habitantes)
2012	0
2013	0
2014	8,237
2015	269,812
2016	481,858
2017	609,328
2018	642,095
2019	635,387
2020	630,533
2021	623,683
2022	612,184

3.2.3 Consumo residencial de energía eléctrica

En la Tabla 3 se manifiestan los datos del consumo residencial donde se registra un promedio de “7616 GWh” durante los 7 últimos años del período de estudio. No obstante, el año 2020 se registró un valor de “8063 GWh” principalmente causado por la pandemia del COVID19, por lo cual en los 2 años posteriores (2021-2022) la

demanda residencial disminuyó regresando a sus valores estándar en condiciones normales [19].

Tabla 3. Datos registrados del consumo residencial a nivel nacional.

AÑO	CONSUMO RESIDENCIAL (GWh)
2012	5629
2013	5881
2014	6364
2015	6928
2016	7105
2017	7298
2018	7400
2019	7656
2020	8063
2021	7959
2022	7833

3.2.4 Consumo residencial de GLP

En la Tabla 4 se manifiestan los datos del consumo del GLP en el sector residencial donde se evidencia que durante el período (2016-2022) el consumo solo ha ido incrementando. No obstante, el año 2016 fue el único en el cual el consumo de GLP fue menor con respecto al año anterior, por lo que se deduce que durante los últimos años la mayoría de las personas prefieren utilizar las cocinas y calefones a gas frente a las cocinas de inducción y sistemas eléctricos para calefacción de agua [19].

Tabla 4. Datos registrados del consumo residencial de GLP a nivel nacional.

AÑO	CONSUMO RESIDENCIAL DE GLP (miles de kg)
2012	770340
2013	796644
2014	823955
2015	824899
2016	811388
2017	813447
2018	839386

2019	866007
2020	883356
2021	900994
2022	931677

3.3 Planteamiento del problema

La problemática del presente estudio se centra en evaluar la asignación del subsidio eléctrico del programa PEC, ya que este subsidio es necesario para disminuir el consumo de combustibles fósiles que impactan negativamente el medio ambiente como el GLP, además de ayudar económicamente a los clientes del programa [42], [43]. También, cabe recalcar que este programa es financiado por el Presupuesto General del Estado y se debe asegurar el buen uso de los recursos que se invierten para llevar a cabo dicho subsidio.

Debido a esta situación, es importante evaluar el subsidio del programa PEC para determinar su eficacia en los clientes y la demanda eléctrica en el sector residencial durante los últimos años. Para resolver este problema se propone una metodología que combina pruebas de normalidad, análisis de correlación, pruebas de hipótesis y dos tipos de análisis multivariantes con datos históricos del Balance Energético Nacional y de la Estadística Anual y Multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano [19].

En la Tabla 5 se describen las variables utilizadas en el algoritmo para realizar el análisis multivariable, donde se destacan los factores considerados para evaluar el subsidio del programa PEC.

Tabla 5. Descripción de las variables consideradas.

Nomenclatura	Descripción
Es	Energía subsidiada por el programa PEC (GWh) a nivel nacional.
NCR	Número de clientes residenciales a nivel nacional.
Cr	Consumo residencial promedio (kWh/consumidor) a nivel nacional.

P_A	Tamaño de la población anual (miles de habitantes).
GLP_A	Consumo residencial del GLP (miles de kg)
C_PEC_A	Número de clientes del programa PEC
Cr_A	Demanda residencial anual (GWh)

El algoritmo del análisis multivariable que fue realizado para cada caso de estudio se expone en la Tabla 6, el cual determina el tipo de vínculo y nivel de conexión que existe en los elementos, además de determinar los coeficientes del modelo que indican la magnitud que implica cada una de las variables independientes sobre la variable dependiente.

Las variables dependientes e independientes se definen en base al objetivo del estudio, es decir se selecciona como variable dependiente al factor que se desea estudiar y como variables independientes a los factores que influyen en el mismo.

Este algoritmo es capaz de tomar en cuenta las múltiples variables al mismo tiempo sobre el resultado final, lo cual permite tener una mayor apreciación sobre el efecto representativo de cada una de las variables independientes.

Tabla 6. Algoritmo para análisis multivariable.

Algoritmo para Análisis multivariable	
Inicio	
Paso 1:	Entrada de variables. Es, NCR, Cr, P_A, GLP_A, C_PEC_A, Cr_A.
Paso 2:	Pruebas de normalidad <ul style="list-style-type: none"> Se ejecuta la prueba de Smirnov si hay más de 50 datos. $D_{n2,n1} = \sup F_{2n1}(x) - F_{1n2}(x)$ Se calcula "W" si hay menos de 50 datos.

$$W = \frac{\sum_{i=1}^n (a_i y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

Paso 3: Coeficiente de correlación.

- Se realiza el cálculo de "rp" si los datos siguen una distribución normal.

$$rp = \frac{n(\sum cd) - (\sum c)(\sum d)}{\sqrt{[n(\sum c) - (\sum c)^2][n(\sum d) - (\sum d)^2]}}$$

- Se realiza el cálculo del coeficiente de "rs" si los datos no siguen una distribución normal.

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^N (x_{i,r} - y_{i,r})^2}{N(N^2 - 1)}$$

Paso 4: Significancia de la correlación.

Se calcula el p-valor mediante la prueba t-student.

$$t = \frac{r}{\sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}}}$$

Paso 5: Definir variables dependientes e independientes.

Paso 6: Seleccionar modelo

- Se utiliza un modelo de regresión lineal múltiple si no existe multicolinealidad.
- Se utiliza un modelo GEE si existe multicolinealidad.
- Se utiliza un modelo de regresión lineal simple si hay una sola variable independiente.

Paso 7: Evaluar el modelo.

Paso 8: Ajustar el modelo.

Se eliminan variables irrelevantes que no aporten al modelo.

Paso 9: Interpretar resultados.

Fin

En la Figura 11 se expone la metodología propuesta para desarrollar el modelo multivariable en cada caso de estudio donde se considera la cantidad de datos de cada variable, el tipo de distribución, la significancia de las correlaciones, el número de variables independientes y la relación que existe entre las variables independientes (multicolinealidad).

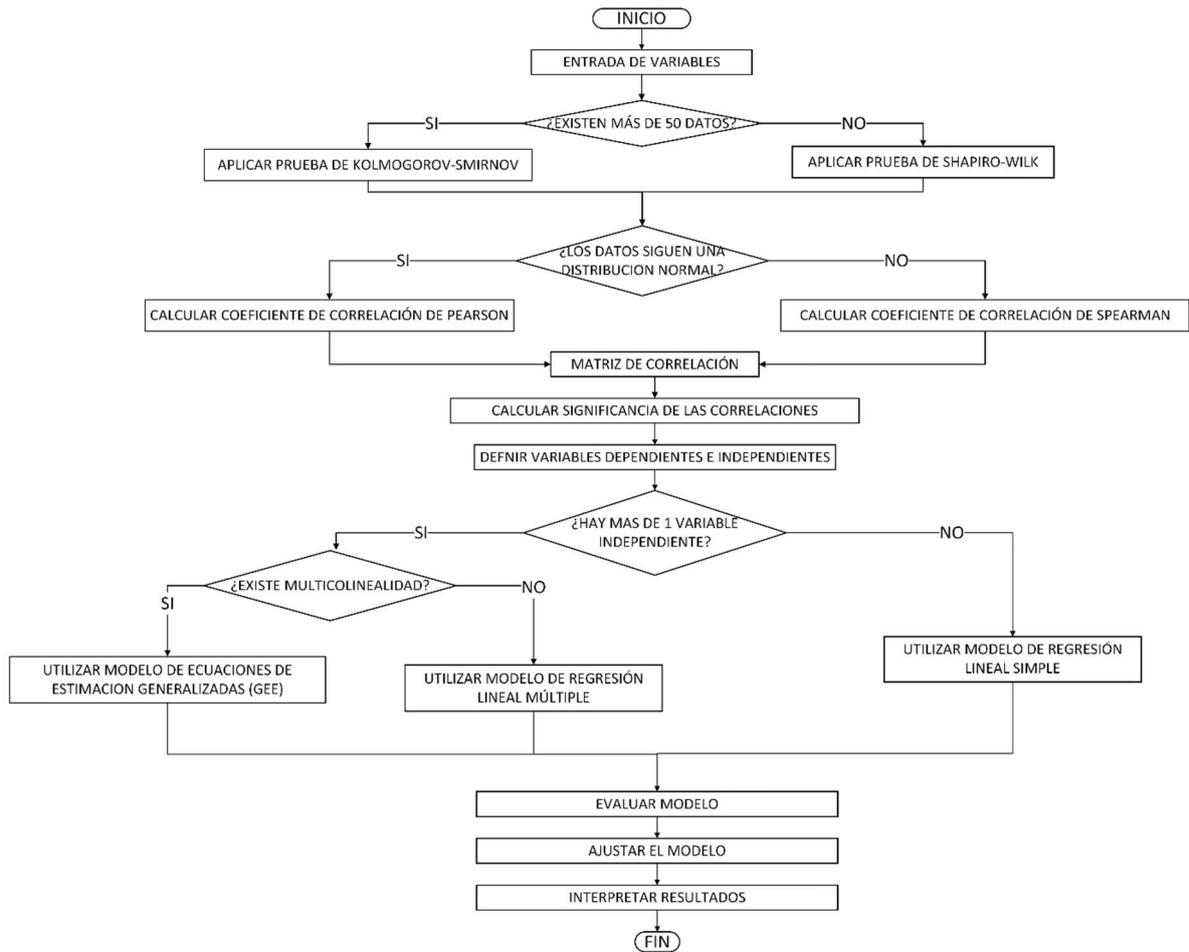


Figura 11. Diagrama de flujo para realizar un análisis multivariable

4 Análisis de resultados

Los resultados de cada caso de estudio, se realizan a partir de los datos históricos de la Estadística Anual y Multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano (2016-2022) y el Balance Energético Nacional 2022.

En el primer caso se evalúa el efecto del consumo residencial promedio y el número de clientes en la energía subsidiada por el programa PEC, donde se espera determinar la relación existente entre cada variable para estimar la eficacia del subsidio en el sector residencial.

En el segundo caso se evalúa el subsidio tomando en cuenta la demanda residencial anual de energía eléctrica, el consumo residencial de GLP y el número de clientes

del programa PEC, donde se espera determinar el consumo de energía que implica cada cliente del subsidio y la eficacia del subsidio en el consumo de GLP. Finalmente, los resultados de cada caso se detallan a continuación.

4.1 Resultados Caso 1

Para este caso se consideró utilizar el modelo GEE principalmente debido a la correlación existente entre las variables independientes (consumo residencial promedio y número de clientes residenciales), ya que este modelo es capaz de considerar esta relación para obtener resultados más precisos. En este caso se asumió una correlación autorregresiva entre el consumo residencial promedio y el número de clientes residenciales.

Además, el modelo GEE es ideal para trabajar con datos longitudinales (medidas de individuos o empresas en múltiples puntos de tiempo), por lo cual ofrece mejorar la inferencia causal al tener en cuenta la correlación entre los datos de la misma empresa o individuo.

4.1.1 Pruebas de normalidad

En este caso los datos de la energía subsidiada (Es), consumo residencial promedio (Cr) y el número de clientes residenciales (NCR) deben ser evaluados según la prueba “Kolmogórov-Smirnov” ya que existen más de 50 de datos por variable.

La probabilidad de rareza para una hipótesis (p-valor), se determina en cada prueba estadística para determinar si los resultados son significativos. Mientras este valor sea menor al nivel de significancia asignado (α) se debe aceptar la hipótesis nula que se haya establecido.

En la Tabla 7 se encuentran expuestos los resultados del p-valor, los cuales nos indican que se debe aceptar la hipótesis de que las variables seleccionadas en este caso de estudio no siguen una distribución normal.

Tabla 7. Resultados de la prueba Kolmogórov-Smirnov.

DATOS	Nivel de significancia " α "	P-valor
Es	0,05	1,67E-10
Cr	0,05	0,04939
NCR	0,05	9,66E-06

Debido a los resultados previamente obtenidos de la prueba de normalidad, se debe utilizar el coeficiente de correlación de Spearman para poder interpretar de mejor manera los valores de la correlación.

4.1.2 Coeficientes de correlación

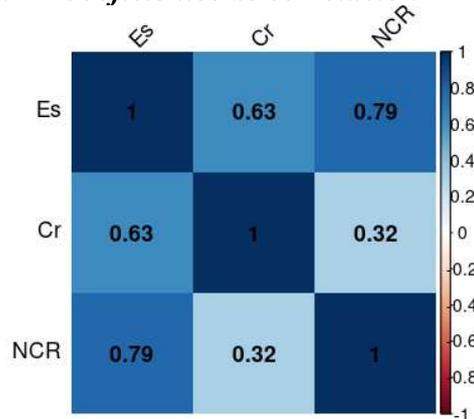


Figura 12. Matriz de correlación de Spearman (Caso 1).

Es importante mencionar que las variables Es (GWh), Cr (kWh/consumidor) y NCR (consumidores) representan a la energía subsidia del programa PEC, al consumo residencial mensual promedio y al número de clientes residenciales de cada empresa distribuidora del Ecuador respectivamente.

Los resultados de la correlación de Spearman se exhibe en la Figura 12, donde se evidencia una correlación entre la energía subsidiada (Es) y el consumo residencial promedio (Cr) de “0.63”, lo cual indica que existe una correlación fuerte que posiblemente se deba a que el aumento de la energía subsidiada afecta directamente al consumo residencial promedio ya que representa un porcentaje significativo de la demanda total en el sector residencial, sin embargo el programa PEC solo subsidia hasta un máximo de 100 kWh/consumidor mientras que el consumo residencial promedio llegó a un máximo de 230,34 kWh/consumidor en el año 2020.

Además, la correlación que se estableció entre la energía subsidiada (Es) y el número de clientes residenciales (NCR) es de “0.79”, lo cual indica que existe una correlación muy fuerte afirmando que el crecimiento poblacional es una de las variables que más afecta a la energía subsidiada a nivel nacional debido a que el

aumento del número de clientes residenciales aumenta significativamente la cantidad de la energía subsidiada.

Finalmente, la correlación calculada entre el consumo residencial promedio (Cr) y el número de clientes residenciales (NCR) es de “0.32” debido a que el aumento de clientes residenciales no afecta de forma directa al consumo promedio mensual, el mismo depende de cada consumidor y se ve influenciado por otros factores.

4.1.3 Significancia de la correlación

Los resultados para determinar la relevancia de las correlaciones se visualizan en la Tabla 8, donde se exhibe que los valores calculados del p-valor son menores al nivel de α “0,05” en cada una de las correlaciones presentadas en este caso de estudio.

Por lo cual se determina que cada una de las correlaciones son significativas y considerables principalmente debido a que existe suficiente información estadística para confirmarlo.

Tabla 8. Nivel de relevancia de “rs” (Caso 1)

P-valor	Es	Cr	NCR
Es	0	9,62E-17	5,14E-31
Cr	9,62E-17	0	1,00E-04
NCR	5,14E-31	1,00E-04	0

4.1.4 Diseño del modelo GEE

Para este caso de estudio se definió como variable dependiente a la energía subsidiada por cada empresa distribuidora (Es) y como variables independientes al consumo residencial promedio (Cr) y al número de clientes residenciales (NCR), con el fin de determinar el efecto de cada variable independiente sobre la energía subsidiada.

En la Tabla 9 se observa un p-valor de 0,045 en la variable de intercepción, un valor de 0,049 en la variable AÑO y las variables Cr y NCR con valores de 2E-16 y 2,6E-14 respectivamente, lo cual indica que cada una de las variables son significativas dentro del modelo GEE ya que son menores al nivel de significancia “0.05”.

Tabla 9. Nivel de importancia de las variables del modelo GEE.

Variable	P-valor
Intercepción	0,045
AÑO	0,049
Cr	2E-16
NCR	2,6E-14

Además, en la Tabla 10 se pueden visualizar los resultados de los coeficientes del modelo, donde se resalta la intercepción de la variable dependiente (Intercepción), el coeficiente del tiempo de evaluación (AÑO), el coeficiente de la variable del consumo residencial promedio (Cr) y el coeficiente de la variable del número de clientes residenciales (NCR).

Tabla 10. Coeficientes del modelo GEE.

Intercepción	AÑO	Cr	NCR
-800,64	0,39	0,081	6,29E-05

Estos coeficientes indican que cada año transcurrido representa un aumento de “0,39 GWh” en promedio de la energía subsidiada por cada empresa distribuidora, además por cada kWh/consumidor equivale a un aumento de “0,081 GWh” y finalmente por cada cliente residencial significa un aumento de “6,29E-05 GWh” de la energía subsidiada por el programa PEC.

Es por eso que se puede afirmar que los coeficientes al ser positivos, no indican la existencia de un problema mayor en la evolución del subsidio, sin embargo, como

se presentó en el caso de estudio a partir del año 2020 la energía subsidiada ha ido disminuyendo en la mayoría de las empresas distribuidoras llegando incluso a niveles inferiores a la del año 2019 cuando el consumo residencial todavía no se veía afectado por la pandemia y por ende la energía subsidiada tampoco, lo cual significaría que durante el año 2022 el número de clientes del programa PEC también disminuyó a pesar incluso del aumento de los clientes residenciales.

Debido a esto se recomienda incentivar el uso de cocinas de inducción y sistemas eléctricos de calentamiento de agua mediante charlas anunciando los beneficios que se obtienen utilizando estos equipos, además de implementar políticas de incentivos económicos para fabricantes y consumidores especialmente en empresas como CNEL-Guayaquil y CNEL-Bolívar las cuales durante el año 2022 disminuyeron su energía subsidiada hasta un 14,04% y un 12,87% respectivamente.

En la Figura 13 se puede observar la comparación del comportamiento de la energía subsidiada durante el período de tiempo de evaluación (2016-2022) y la estimación de energía calculada del modelo GEE en base al consumo residencial promedio y el número de clientes residenciales.

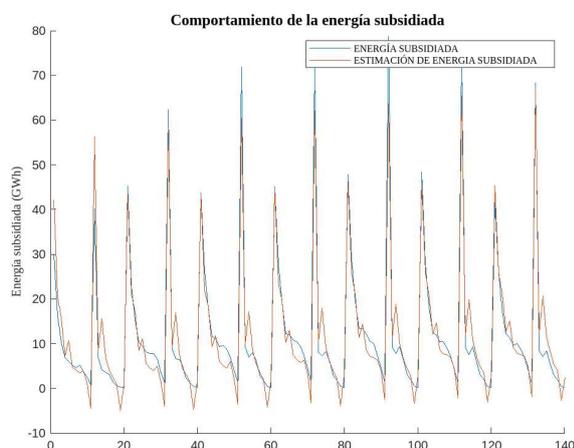


Figura 13. Estimación de la energía subsidiada.

En la Tabla 11 se exponen los resultados del error cuadrático medio (RMSE) y el error absoluto medio (MAE), los cuales representan el error de estimación del modelo. El RMSE señala el nivel representativo de los valores atípicos dentro del modelo y el MAE indica el error promedio entre todas las observaciones.

Tabla 11. Error del modelo GEE (Caso 1)

ERROR	Valor
RMSE	4,36
MAE	2,98

4.2 Resultados Caso 2

Para este caso se utilizó un modelo de regresión lineal debido al objetivo de predecir el consumo del GLP a largo plazo en caso de que continúen las tendencias de crecimiento de la población y los clientes del programa PEC sigan disminuyendo.

Además, con el fin de estimar la demanda residencial durante los próximos años se utilizó nuevamente el modelo GEE ya que en este caso también existe correlación entre las variables independientes (clientes del programa PEC y población).

Finalmente, mediante el modelo GEE se determinó el efecto representativo que tiene cada cliente del programa PEC sobre la demanda residencial en un contexto multivariable considerando una correlación autorregresiva entre la población y el número de clientes del subsidio.

4.2.1 Pruebas de normalidad

En la Tabla 12 se exponen los resultados de la prueba de normalidad “Shapiro Wilk”, la cual manifiesta que los datos de la población (P_A), consumo residencial del GLP (GLP_A) y el consumo residencial de energía eléctrica (Cr_A) siguen una distribución normal ya que son mayores al nivel de significancia.

Sin embargo, los datos del número de clientes del programa PEC (C_PEC_A) al presentar un p-valor menor al nivel de α , se determina que los datos de esta variable no siguen una distribución normal y por ende se debe utilizar la correlación de Spearman.

Tabla 12. Resultados de la prueba “Shapiro Wilk”

DATOS	Nivel de significancia " α "	P-valor
P_A	0,05	0,9
C_PEC_A	0,05	0,002
GLP_A	0,05	0,8
Cr_A	0.05	0,3

4.2.2 Coeficientes de correlación

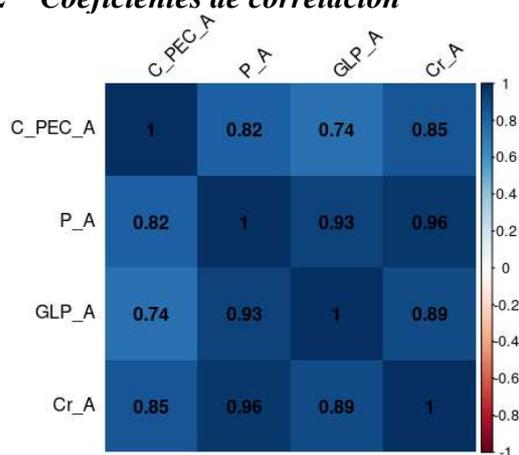


Figura 14. Matriz de correlación de Spearman (Caso 2).

En la Figura 14 se observa una correlación muy fuerte de “0.82” entre el número de clientes del programa PEC (C_PEC_A) y la población a nivel nacional (P_A), lo cual se puede interpretar como que las veces que aumentó el número de clientes del programa estuvo asociado directamente con el crecimiento de la población. Sin embargo, hay que tener en cuenta que durante el período (2018-2022) el número de clientes del programa PEC ha ido disminuyendo a pesar de que la población a nivel nacional sigue aumentando.

Además, existe una correlación de “0.74” entre el número de clientes del programa

PEC (C_PEC_A) y el consumo residencial del GLP (GLP_A), lo cual quiere decir que a pesar de que aumentara el número de clientes del programa PEC también lo hizo el consumo del GLP, por lo cual se puede inferir que la tendencia de crecimiento de los clientes del programa PEC es menor a la tendencia de crecimiento de los clientes residenciales durante el período (2016-2022). No obstante, también hay que considerar que el consumo residencial del GLP podría aumentar o disminuir a pesar de mantenerse el mismo número de clientes residenciales debido a eventos externos como las pandemias, donde la gente se ve obligada a permanecer en sus residencias durante un mayor período de tiempo.

También, la Figura 14 indica una correlación muy fuerte de “0.85” entre el número de clientes PEC (C_PEC_A) y el consumo residencial de energía eléctrica (Cr_A), lo cual se interpreta como que el uso de cocinas de inducción y sistemas eléctricos para calefacción de agua afectan significativamente a la demanda residencial anual.

Respecto a la relación de la población (P_A) con el consumo residencial del GLP (GLP_A) se calculó un coeficiente de correlación de “0.93”, lo cual indica que el crecimiento poblacional sigue siendo de los factores más influyentes en el consumo del GLP, lo cual demuestra que a pesar del incentivo tarifario del Programa PEC la gente prefiere o se ve obligada a seguir usando tanto las cocinas de GLP como calefones a gas para calentamiento de agua.

Por otra parte, la Figura 14 indica un coeficiente de correlación de “0.96” entre la población (P_A) y la demanda residencial anual (Cr_A), lo cual se interpreta como una relación directa entre las dos variables por lo que se infiere que

solo un pequeño porcentaje de personas no tienen acceso o no consumen electricidad en sus viviendas.

Finalmente, en la matriz de correlación de Spearman se manifiesta un coeficiente de correlación de “0.89” entre el consumo residencial de energía eléctrica (Cr_A) y el consumo residencial del GLP (GLP_A), lo cual se podría interpretar como una relación implícita (no causal), debido a factores externos que comparten en común como el crecimiento poblacional.

4.2.3 Significancia de las correlaciones

Los resultados para determinar la relevancia de las correlaciones se visualizan en la Tabla 13, la cual manifiesta que los resultados de las correlaciones son importantes y considerables por ser menores a un nivel de significancia de “0.05”.

Tabla 13. Nivel de relevancia de “rs” (Caso 2)

P-valor	C_PEC_A	P_A	GLP_A	Cr_A
C_PEC_A	0	0,002	0,008	0,0008
P_A	0,002	0	3,97E-05	1,85E-06
GLP_A	0,008	3,97E-05	0	2,33E-04
Cr_A	0,0008	1,85E-06	2,33E-04	0

4.2.4 Impacto del subsidio en el GLP

Como ya se ha mencionado con anterioridad el objetivo del subsidio eléctrico del programa PEC es disminuir el consumo del GLP en las residencias reemplazándolo con energías limpias como la electricidad, lo cual implica menos pérdidas de calor, mayor seguridad, menor tiempo de cocción, disminución de la contaminación y mayor durabilidad.

Debido a lo cual es importante resaltar el impacto que ha tenido el programa PEC en el consumo del GLP dentro del sector

residencial. En la Figura 15, se observa la evolución del consumo de GLP antes y después del subsidio, donde se indica que en los primeros años del programa (2014-2017) el consumo del GLP disminuyó su tendencia de crecimiento, para mantenerse en un valor constante y llegar incluso a disminuir su consumo.

Sin embargo, desde el año 2018 el consumo ha ido incrementando, con pendientes parecidas al que se tenía antes de implementar el programa PEC, lo cual se interpreta como una disminución de la eficacia del subsidio, es decir la tendencia de crecimiento de los clientes del programa PEC es menor a la tendencia de crecimiento de los clientes residenciales [19].

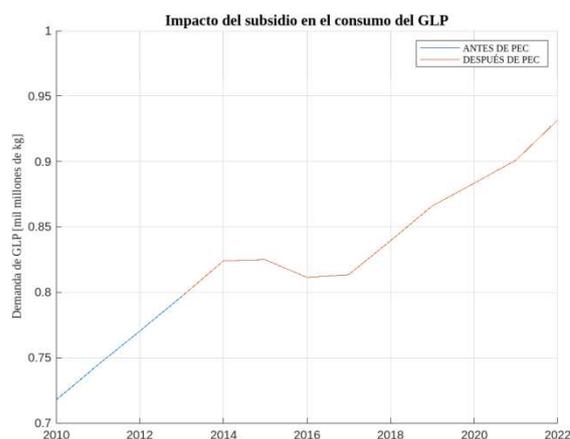


Figura 15. Impacto del subsidio en el consumo del GLP.

4.2.5 Proyección del consumo del GLP

Para realizar la proyección del consumo residencial del GLP hasta el año 2025 se asumió que la tendencia de crecimiento de la población se mantendría constante por lo cual en base a la tasa de crecimiento anual acumulada de “1,35%” se calculó el tamaño de la población, hasta el año 2025.

Además, con el fin de pronosticar la demanda residencial del GLP en caso de que los consumidores sigan disminuyendo se utilizó un modelo de regresión lineal simple con los datos del período 2016-

2022, cuando el número de clientes del programa PEC comenzaron a disminuir.

En la Figura 16 se observa como para el año 2025 en caso de continuar las tendencias actuales, el consumo de GLP residencial llegaría aproximadamente a un valor de "990 (millones de kg)", lo cual significaría aproximadamente 2970 millones de kg de CO₂, teniendo efectos considerables en el medio ambiente.

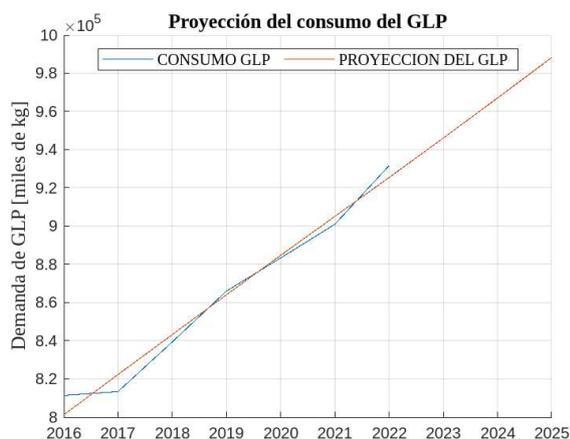


Figura 16. Proyección del consumo residencial de GLP.

En la Tabla 14 se expone el error representativo del modelo de regresión lineal simple, donde se destaca el error típico o estándar, el error cuadrático medio (RMSE) y el error absoluto medio (MAE),

Tabla 14. Error del modelo de regresión lineal simple.

ERROR	Valor
Estándar	7185,5
RMSE	6072,85
MAE	5223,22

4.2.6 Proyección de la demanda residencial

Para pronosticar la demanda del sector residencial se utilizó el modelo GEE, el cual es capaz de pronosticar el comportamiento de varias variables en un contexto multivariado, por lo cual se consideró que para los próximos años el tamaño de la población aumente y el

número de clientes del programa PEC disminuya.

Se definió como variable dependiente a la demanda residencial anual, y como variables independientes al tamaño de la población (P_A) y al número de clientes del programa PEC (C_PEC_A), con el objetivo de estimar el efecto representativo que implican estas dos variables en la demanda residencial y así poder realizar una proyección a futuro en caso de mantenerse las tendencias actuales de ambas variables.

En la Tabla 15 se observa el nivel de relevancia de las variables independientes (tamaño de la población y número de clientes del programa PEC), las cuales son significativas dentro del modelo GEE ya que son menores al nivel de significancia "0.05".

Tabla 15. Nivel de significancia de las variables independientes (Caso 2).

Variable	P-valor
Intercepción	0,045
P_A	0,049
C_PEC_A	2E-16

En la Tabla 16 se pueden visualizar los resultados de los coeficientes del modelo, donde se resalta la intercepción de la variable dependiente (Intercepción), el coeficiente de la variable de la población (P_A) y el coeficiente de la variable del número de clientes del programa PEC (C_PEC_A).

Tabla 16. Coeficientes del modelo GEE (Caso 2)

Intercepción	P_A	C_PEC_A
-3203,7685	0,5841	0,00124

Los coeficientes del modelo indican que por cada mil habitantes la demanda residencial aumenta en un promedio de "0,5841 (GWh)" y por cada cliente PEC

aumenta un promedio de “0,00124 (GWh)”, lo cual quiere decir que cada variable implica un aumento considerable de energía eléctrica por lo cual se debe tomar en consideración ambas variables en caso de que el número de clientes aumenten o disminuyan.

En la Figura 17 se observa que para el año 2025 se estima un consumo residencial anual de “8480 GWh”, lo cual indica que a pesar de que los clientes de programa disminuyan el consumo residencial de energía eléctrica va a seguir aumentando. Sin embargo, en caso de que aumentará el número de clientes del programa PEC, representaría un aumento significativo de la demanda residencial por lo cual en ese caso se debería aumentar la generación mediante proyectos que permitan construir una matriz energética sostenible en el Ecuador, y además se debería repotenciar las redes de distribución para poder soportar la demanda residencial que implica el subsidio.

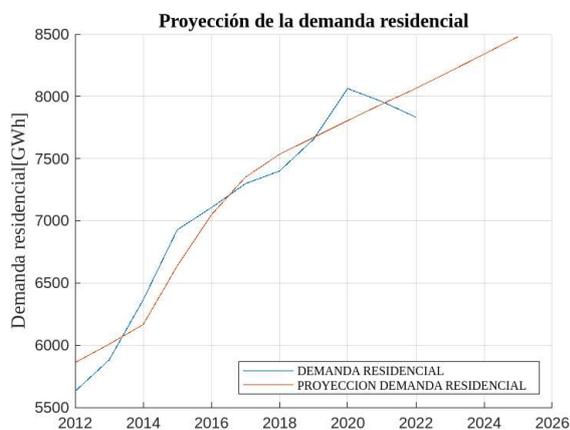


Figura 17. Proyección de la demanda residencial (GWh)

En la Tabla 17 se expone los resultados del error cuadrático medio (RMSE) y el error absoluto medio (MAE), los cuales indican el error representativo del modelo.

Tabla 17. Error del modelo GEE (Caso 2)

ERROR	Valor
RMSE	175,01
MAE	146,68

4.3 Resumen de resultados

4.3.1 Resumen de resultados (Caso 1)

En la presente investigación se obtuvo los resultados que se exponen en la Tabla 18, donde se destacan los coeficientes de correlación de Spearman del caso 1, los cuales indican el nivel de dependencia entre las variables dentro de un entorno bivariado, es decir sin tener en cuenta ningún otro factor además de la relación entre una variable con la otra.

Tabla 18. Coeficientes de correlación (Caso 1).

“rs”	Es	Cr	NCR
Es	1	0,63	0,79
Cr	0,63	1	0,32
NCR	0,79	0,32	1

Por otro lado, en la Tabla 19, se exponen los coeficientes del modelo GEE, los cuales explican la magnitud representativa que implica cada una de las variables independientes sobre la energía subsidiada por el programa PEC dentro de un entorno multivariante, es decir considerando el efecto que provoca cada variable independiente sobre la variable dependiente al mismo tiempo.

Tabla 19. Resultados del modelo GEE (Caso 1).

MODELO GEE	COEFICIENTES	P-valor
Intercepción	-800,64	0,045
AÑO	0,39	0,049
Cr	0,081	2E-16
NCR	6,29E-05	2,6E-14

4.3.2 Resumen de resultados (Caso 2)

En la Tabla 20, se exponen los resultados de los coeficientes de correlación de Spearman entre las variables del segundo caso, los cuales nos indica el nivel de dependencia de las variables en un entorno bivariado. Sin embargo, hay que tener en cuenta que las correlaciones no necesariamente implican causalidad.

Tabla 20. Coeficientes de correlación (Caso 2).

“rs”	C_PEC_A	P_A	GLP_A	Cr_A
C_PEC_A	1	0,82	0,74	0,85
P_A	0,82	1	0,93	0,96
GLP_A	0,74	0,93	1	0,89
Cr_A	0,85	0,96	0,89	1

Además, en la Tabla 21, se exponen los coeficientes del modelo GEE del caso 2, los cuales explican la magnitud representativa que implica cada una de las variables independientes sobre la demanda residencial anual dentro de un entorno multivariante.

Tabla 21. Resultados del modelo GEE (Caso 2)

MODELO GEE	COEFICIENTES	P-valor
Intercepción	-3203,7685	<2e-16
P_A	0,5841	<2e-16
C_PEC_A	0,00124	<2e-16

4.3.3 Comparación entre caso 1 y caso 2

Para determinar cuál modelo se ajusta mejor a los datos basado es una correlación autorregresiva se utilizó el criterio de Criterio de Cuasi-verosimilitud bajo el modelo de independencia (QIC), el cual nos indica que el modelo con menor QIC

es el que mejor se ajusta a los datos sin necesidad de ser más complejo.

En la Tabla 22 se exponen los resultados del criterio (QIC) donde se destacan los resultados del QIC, QICu, CIC y el QICC para cada modelo GEE realizado en cada caso de estudio.

Tabla 22. Comparación de modelos GEE.

CRITERIO	Caso 1	Caso 2
QIC	2678,4	3,37E+05
QICu	2679,31	3,37E+05
CIC	3,55	1,66E-01
QICC	2682,69	3,37E+05

Los resultados tanto del QIC, QICu y QICC demuestran que el primer caso presenta un mejor ajuste de los datos que los del segundo caso, debido principalmente a que en el caso 1 existe una mayor cantidad de observaciones.

Respecto a los resultados del CIC, el segundo caso nos indica como el modelo analiza mejor la dependencia entre las variables que el modelo realizado en el primer caso. Por lo cual se puede afirmar que para realizar un modelo GEE que se adapte mejor a la estructura de correlación entre variables independientes se debe utilizar variables que estén fuertemente correlacionadas.

Sin embargo, es importante recalcar que se deben interpretar cuidadosamente los resultados cuando no existe una gran base de datos, ya que esto puede llevar a mal interpretaciones si no se analiza el contexto de cada variable.

Además, en la Tabla 23 se expone la comparación del error cuadrático y el error absoluto medio de los modelos realizados en ambos casos, donde el modelo GEE del primer caso es el que presentó un menor nivel de error tanto del RMSE y del MAE. Lo cual indica que el modelo GEE del caso 1, es el que más aproximó sus resultados presentando menos valores atípicos y un menor error en promedio que los otros modelos.

Tabla 23. Comparación de errores RMSE y MAE.

ERROR	RMSE	MAE
MODLEO GEE (CASO 1)	4,36	2,98
REGRESION LINEAL SIMPLE	6072,85	5223,22
MODLEO GEE (CASO 2)	175,01	146,68

Al obtener un RMSE de 4,36 vs un MAE de 2,98 indica que el modelo GEE del primer caso presenta un error en promedio de aproximadamente solo 3 unidades. Además, estos errores indican que el modelo presenta pocos valores estimados alejados de la realidad al existir una mínima diferencia entre ambos errores.

Para el caso de regresión lineal simple con un RMSE de 6072,85 con contraste del MAE con 5223,22 se puede interpretar como que el error promedio del modelo se estima en 5223,22 unidades. Además, el modelo indica algunos valores atípicos al existir una gran diferencia entre ambos errores.

Finalmente, en el caso del modelo GEE para las condiciones del caso 2, los valores de 175,01 y 146,68 en RMSE y MAE respectivamente, permiten conocer que el modelo realizado tiene un error promedio de 146,8 unidades entre todas las observaciones realizadas, además el

modelo presenta pocos valores atípicos al existir poca diferencia entre ambos errores.

5 Conclusiones

Con base al análisis multivariable realizado considerando la energía subsidiada del programa PEC, el consumo residencial promedio y el crecimiento poblacional, se concluye que el tamaño de la población es la variable que más afecta al subsidio de energía eléctrica entre las variables seleccionadas con un valor de correlación de “0.79”, lo cual se evidencia en la Tabla 18.

Además, en la elaboración de este análisis se caracterizaron los datos del consumo residencial y el crecimiento poblacional mediante datos históricos reportados por el Balance Energético Nacional 2022 y la Estadística Anual y Multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano (2016-2022).

El modelo GEE realizado en el primer caso nos indica que durante este período de tiempo, la energía subsidiada por cada empresa distribuidora aumentó aproximadamente “0,39 (GWh)” por cada año transcurrido, además de aumentar “0,081 (GWh)” por cada (kWh/consumidor) y finalmente aumentar “6,29E-05 (GWh)” por cada cliente residencial, lo cual se manifiesta en la Tabla 19.

Sin embargo, en el segundo caso se calculó un coeficiente de correlación de “0.74” entre el número de clientes del programa PEC y el consumo residencial del GLP anual, lo cual indica que la tendencia de crecimiento del número de clientes residenciales es mayor a la tendencia de crecimiento de los clientes del subsidio por lo cual a pesar de que aumentó el número clientes del programa PEC, el consumo residencial del GLP también lo hizo.

No obstante, en caso de que la tendencia de crecimiento de los clientes PEC sea mayor a la tendencia de crecimiento de los clientes residenciales, el consumo residencial del GLP podría llegar a mantenerse constante o incluso disminuir como ocurrió en período (2014-2017). Debido a lo cual, se infiere que la eficacia del subsidio en el consumo del GLP ha ido disminuyendo debido a la disminución del número de clientes del subsidio en el período (2018-2022).

Por otra parte el modelo GEE realizado en el segundo caso nos indica que cada cliente del programa PEC representa un consumo de “1240 kWh” al año, mientras cada habitante del país representa un consumo de “584,1 kWh” por lo cual se concluye que en caso de que el número de clientes del subsidio aumente, se deberá aumentar la generación de energía eléctrica mediante proyectos eléctricos sostenibles, además de repotenciar las redes de distribución para poder soportar la demanda que implica el subsidio.

Finalmente, en caso de que el número de clientes del subsidio siga disminuyendo se estima un consumo residencial del GLP de aproximadamente “900000 (miles de kg)” para el año 2025, lo que representaría un aumento considerable de emisiones de CO₂, afectando negativamente al medio ambiente. Además, a pesar de que el número de los clientes del subsidio disminuya se estima que la demanda residencial va a seguir aumentando llegando a un valor de “8480 (GWh)” para el año 2025.

6 Trabajos futuros

Con los resultados de investigación se sugiere realizar un estudio que determine el nivel de relación con una medición del consumo más exacta teniendo en cuenta las pérdidas y los factores climáticos que afectan al sistema eléctrico.

Se recomienda como continuación de esta investigación, pronosticar el valor subsidiado en los próximos años con la información presentada en este trabajo.

Se recomienda el análisis del consumo y del subsidio clasificado por meses para interpretar de mejor manera los resultados obtenidos.

7 Referencias

- [1] C. Guo, S. Ci, Y. Zhou, and Y. Yang, “A Survey of Energy Consumption Measurement in Embedded Systems,” 2021, *Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.* doi: 10.1109/ACCESS.2021.3074070.
- [2] X. Han, C. Zhang, Y. Tang, and Y. Ye, “Physical-data Fusion Modeling Method for Energy Consumption Analysis of Smart Building,” *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, vol. 10, no. 2, pp. 482–491, Mar. 2022, doi: 10.35833/MPCE.2021.000050.
- [3] K. Li, Y. Liu, and J. Liu, “Evaluation of Photovoltaic Subsidy Policies: A System Dynamics Approach,” in *Proceedings - 2023 Panda Forum on Power and Energy, PandaFPE 2023*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2023, pp. 686–693. doi: 10.1109/PandaFPE57779.2023.10140962.
- [4] Institute of Electrical and Electronics Engineers, *Research on Public Transport Fuel Subsidy Allocation Model*. 2017.
- [5] G. Wang, X. Shen, and H. Jiang, “Research on growth trends and spatial distribution of Shanghai population based on GIS,” 2010.
- [6] F. Wang, *Demand Forecast of the Logistic Park Based on the Curve of Growth Theory*. I E E E, 2009.

- [7] W. Xiao-zhi and C. Hong, "Price fixing subsidy and quota subsidy model in consumer electronic products supply chain," in *2009 International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering, ICIII 2009*, 2009, pp. 233–236. doi: 10.1109/ICIII.2009.214.
- [8] L. Ma, Y. Guo, S. Wang, and G. Qin, "On government subsidies of closed loop green supply chain: subsidies for consumers or manufacturers?," 2015.
- [9] T. Mao, L. Sun, P. Xie, W. Wu, S. Han, and X. Guo, "A Calculation Method for Levied Peak Electricity Price Dealing with Virtual Power Plant Peak Shaving Subsidy," in *2021 4th International Conference on Energy, Electrical and Power Engineering, CEEPE 2021*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Apr. 2021, pp. 1053–1057. doi: 10.1109/CEEPE51765.2021.9475740.
- [10] H. Kumar and D. K. Khatod, "Cross Subsidy in Loss Allocation in Power Distribution Network Based on Game Theory Approach," in *2022 22nd National Power Systems Conference, NPSC 2022*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2022, pp. 896–901. doi: 10.1109/NPSC57038.2022.10069651.
- [11] J. C. P. Yu and Y. C. Liour, "An Optimal Pricing Policy for Reuse Items with Incentive Subsidy Demand," 2012.
- [12] IEEE Staff, *On the Evaluation of Subsidy-free Grid-Connected PV Systems in Sunny Countries: an Economic Assessment*. IEEE, 2019.
- [13] Ministerio De Economía y Finanzas, "Subsidios Proforma Presupuestaria 2023," 2023.
- [14] Dirección de Regulación Económica y Tarifas del Sector Eléctrico, "Dirección de Regulación Económica y Tarifas del Sector Eléctrico," 2022.
- [15] H. E. Barrezueta, "Ley Adultos Mayores," 2019.
- [16] H. E. Barrezueta, "Ley Orgánica de discapacidades," 2012. [Online]. Available: www.registroficial.gob.ec
- [17] Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables, "Pliego-Tarifario-Servicio-Publico-de-Energia-Electrica_-Ano-2022," 2022.
- [18] E. Carrión Quezada, L. Maingón Velasco, and F. Santos Alvite, "Estadística Anual y Multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano 2022," 2022.
- [19] J. Fontalvo Díaz, P. Ramírez Peñaherrera, J. Constante Argüello, and J. Fonseca Palacios, "Balance Energético Nacional 2022," 2022. [Online]. Available: www.recursoyenergia.gob.ec
- [20] J. G. Brida, E. Alvarez, G. Cayssials, and M. Mednik, "How does population growth affect economic growth and vice versa? An empirical analysis," *Review of Economics and Political Science*, 2024, doi: 10.1108/REPS-11-2022-0093.
- [21] J. Bayona Carrasco and I. P. Rúbies, "Large metropolitan areas in Spain: From growth and residential expansion to population stagnation," *Doc Anal Geogr*, vol. 66, no. 1, pp. 27–55, 2020, doi: 10.5565/rev/dag.576.
- [22] S. A. Zarghami and I. Gunawan, "Forecasting the Impact of Population Growth on Robustness

- of Water Distribution Networks: A System Dynamics Approach,” *IEEE Trans Eng Manag*, vol. 70, no. 2, pp. 605–614, Feb. 2023, doi: 10.1109/TEM.2021.3052750.
- [23] Z. Zhao, Y. Peng, X. Zhu, X. Wei, X. Wang, and J. Zuo, “Research on prediction of electricity consumption in smart parks based on multiple linear regression,” 2020, pp. 812–816. doi: 10.1109/ITAIC49862.2020.9338976.
- [24] S. ElBouch, O. J. J. Michel, and P. Comon, “Joint Normality Test Via Two-Dimensional Projection,” in *ICASSP, IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing - Proceedings*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2022, pp. 5802–5806. doi: 10.1109/ICASSP43922.2022.9747195.
- [25] Novosibirskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet and Institute of Electrical and Electronics Engineers, *On Some New k-Samples Tests for Testing the Homogeneity of Distribution Laws*. 2018.
- [26] N. Mohd Razali and Y. Bee Wah, *Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling tests*, vol. 2, no. 1. 2011.
- [27] D. Falie and L. David, “Correlation Coefficient Based On Independent Component Analysis,” 2012.
- [28] Y. Zhao, A. Zhao, H. He, Z. Xia, and Y. Zhou, “Correlation analysis of weather factors and outage duration,” in *Proceedings of 2021 IEEE 4th International Electrical and Energy Conference, CIEEC 2021*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., May 2021. doi: 10.1109/CIEEC50170.2021.9510213.
- [29] J. de Winter, S. Gosling, and J. Potter, “Supplemental Material for Comparing the Pearson and Spearman Correlation Coefficients Across Distributions and Sample Sizes: A Tutorial Using Simulations and Empirical Data,” *Psychol Methods*, 2016, doi: 10.1037/met0000079.supp.
- [30] IEEE Signal Processing Society, *Contourlet Based Natural Scene Statistics using Student’s t Distribution*. 2018.
- [31] M. F. Triola, L. E. Pineda Ayala, and L. M. Medina Herrera, *Estadística*. 2013.
- [32] Kelmansky Diana M., “ESTADÍSTICA PARA TODOS. Estrategias de pensamiento y herramientas para la solución de problemas.” 2009.
- [33] F. Farjana, S. K. Singha, and A. Al Farabi, “Cuffless Blood Pressure Determination Using Photoplethysmogram (PPG) Signal Based on Multiple Linear Regression Analysis,” in *2021 International Conference on Science and Contemporary Technologies, ICSCCT 2021*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2021. doi: 10.1109/ICSCCT53883.2021.9642626.
- [34] L. C. Croot, “Trait Hope as a Moderator of the Effects of Hassles and Uplifts on Trait Hope as a Moderator of the Effects of Hassles and Uplifts on Depressive Symptoms in College Students Depressive Symptoms in College Students,” 2015. [Online]. Available: <https://scholarworks.umt.edu/etd/4617>

- [35] S. Heera *et al.*, “The TRUST Study—TRansition US Together: Evaluating the Impact of a Parent- and Adolescent-Centered Transition Toolkit on Transition Readiness in Patients with Juvenile Idiopathic Arthritis and Childhood-Onset Systemic Lupus Erythematosus †,” *Children*, vol. 11, no. 7, Jul. 2024, doi: 10.3390/children11070881.
- [36] J. C. Bermeo Calderón, G. A. Arguello Ríos, and J. C. Cepeda Campaña, “Estadística Anual y Multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano 2021,” 2021.
- [37] H. Merchán Manzano, R. Ortiz Durán, and S. Aguilar Espinoza, “Estadística Anual y Multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano 2019,” 2019.
- [38] J. C. Bermeo Calderón, G. A. Arguello Ríos, and J. C. Cepeda Campaña, “Estadística Anual y Multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano 2020,” 2020.
- [39] C. Pérez García, A. Altamirano Chávez, and G. B. Lucio Manzoni, “Estadística Anual y Multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano 2018,” 2018.
- [40] A. Chávez Peñaherrera, “Estadística Anual y Multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano 2016,” 2016.
- [41] G. Salazar, “Estadística Anual y Multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano 2017,” 2017.
- [42] R. O. Galarza and C. C. Cuji, “Vista de Gestión Óptima De La Energía En Un Proceso Paulatino Y Controlado Para Contribuir A La Descarbonización Del Sector Eléctrico,” 2022.
- [43] D. E. Polanco and C. C. Cuji, “Estimation of Energy Payback Time Applied In Hydrogen Production For Electricity Generation Purposes,” 2022.

7.1 Matriz de Estado del Arte

Tabla 24: Matriz de estado del arte.

ANÁLISIS MULTIVARIABLE PARA LA EVALUACIÓN DEL SUBSIDIO ELÉCTRICO CONSIDERANDO EL CONSUMO RESIDENCIAL Y EL CRECIMIENTO POBLACIONAL EN EL PERÍODO 2016-2022																				
ITEM	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	REFERENCIA	CITAS		TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETOS			RESTRICCIONES DEL PROBLEMA		PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA			SOLUCIÓN PROPUESTA		
				Problema: Objetivo		EVALUACIÓN DE SUBSIDIOS	EVALUACIÓN DE CRECIMIENTO POBLACIONAL	EVALUACIÓN DE CONSUMO ELÉCTRICO	SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	PREDICCIÓN DE DEMANDA	EFICACIA DE SUBSIDIOS	TENDENCIAS DE CRECIMIENTO	MODELOS DE MEDICIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO	DISPONIBILIDAD	COSTOS	MODELO PFM	MODELO DINAMICO	SIMULACIÓN	ANÁLISIS DE CORRELACIÓN DE VARIABLES	MODELO DE REGRESIÓN LINEAL MULTIPLE
1	2021	A Survey of Energy Consumption Measurement in Embedded Systems	\cite{Guo2021}	12	NO	☒		☒					☒	☒			☒			
2	2022	Physical-data Fusion Modeling Method for Energy Consumption Analysis of Smart Building." Journal of Modern Power Systems and Clean Energy	\cite{Han2022}	5	NO			☒					☒	☒		☒				☒
3	2015	On government subsidies of closed loop green supply chain: subsidies for consumers or manufacturers?	\cite{Ma}	5	NO	☒					☒			☒			☒	☒		
4	2009	Demand Forecast of the Logistic Park Based on the Curve of Growth Theory	\cite{}	3	NO		☒	☒			☒			☒			☒		☒	
5	2021	A Calculation Method for Levied Peak Electricity Price Dealing with Virtual Power Plant Peak Shaving Subsidy	\cite{Mao2021}	3	SI	☒					☒		☒	☒			☒			
6	2010	Research on growth trends and spatial distribution of Shanghai population based on GIS	\cite{Wang}	1	NO		☒			☒		☒		☒			☒	☒		
7	2009	Price fixing subsidy and quota subsidy model in consumer electronic products supply chain,	\cite{Xiao-zhi2009}	1	SI	☒					☒			☒	☒		☒		☒	

ANÁLISIS MULTIVARIABLE PARA LA EVALUACIÓN DEL SUBSIDIO ELÉCTRICO CONSIDERANDO EL CONSUMO RESIDENCIAL Y EL CRECIMIENTO POBLACIONAL EN EL PERÍODO 2016-2022

ITEM	DATOS				TEMÁTICA	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DEL PROBLEMA OBJETOS				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA		PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA			SOLUCIÓN PROPUESTA							
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	REFERENCIA	CITAS		Problema; Objetivo	EVALUACIÓN DE SUBSIDIOS	EVALUACIÓN DE CRECIMIENTO POBLACIONAL	EVALUACIÓN DE CONSUMO ELÉCTRICO	SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	PREDICCIÓN DE DEMANDA	EFICACIA DE SUBSIDIOS	TENDENCIAS DE CRECIMIENTO	MODELOS DE MEDICION DEL CONSUMO ELÉCTRICO	DISPONIBILIDAD	COSTOS	MODELO PFM	MODELO DINAMICO	SIMULACIÓN	ANÁLISIS DE CORRELACIÓN DE VARIABLES	MODELO DE REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE	MODELO GEE
8	2019	On the Evaluation of Subsidy-free Grid-Connected PV Systems in Sunny Countries: an Economic Assessment	\cite{IEEE Staff2019}	1	SI	☒			☒		☒			☒			☒				☒	
9	2023	Evaluation of Photovoltaic Subsidy Policies: A System Dynamics Approach," in Proceedings - 2023 Panda Forum on Power and Energy	\cite{Li2023}	0	SI	☒		☒		☒				☒		☒	☒				☒	
10	2017	Research on Public Transport Fuel Subsidy Allocation Model	\cite{Institute of Electrical and Electronics Engineers}	0	SI	☒				☒				☒			☒				☒	
11	2022	Cross Subsidy in Loss Allocation in Power Distribution Network Based on Game Theory Approach.	\cite{Kumar2022}	0	SI	☒				☒				☒			☒				☒	
12	2012	An Optimal Pricing Policy for Reuse Items with Incentive Subsidy Demand.	\cite{Yu}	0	SI	☒				☒				☒	☒		☒				☒	

7.2 Resumen de Indicadores

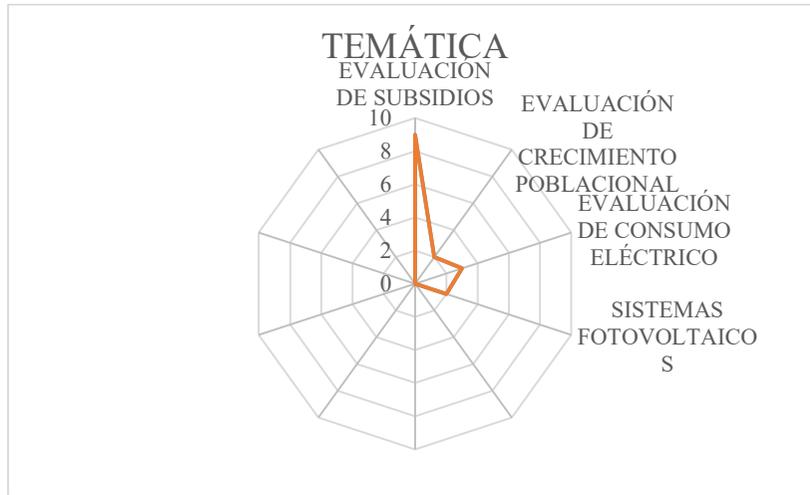


Figura 18. Resumen e indicador de la temática - Estado del arte.



Figura 19. Indicador de formulación del problema - Estado del arte.

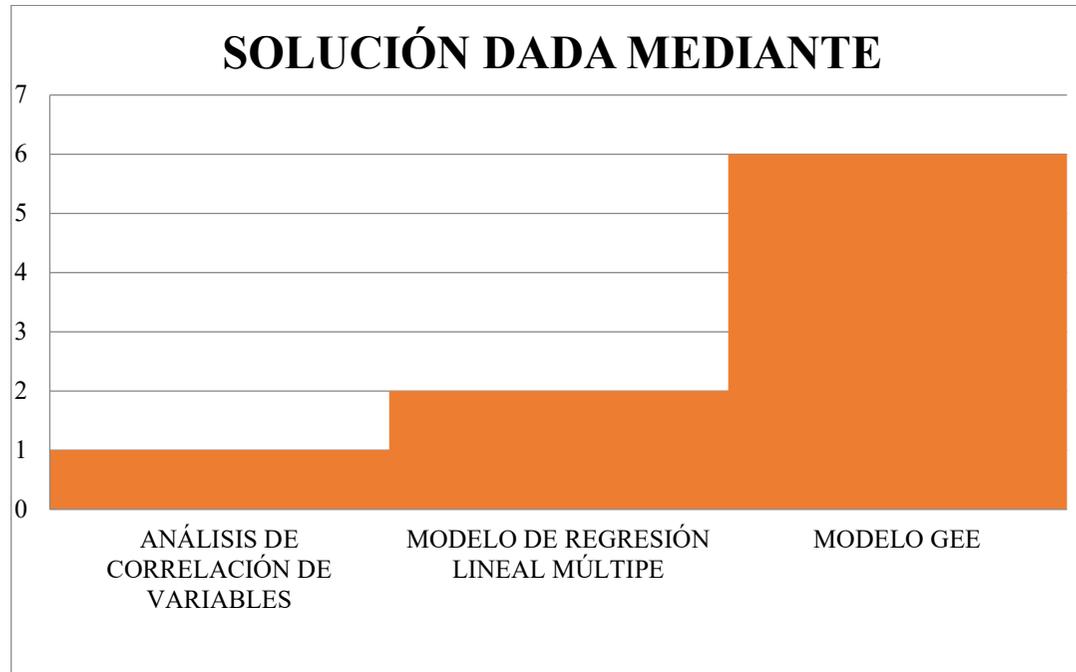


Figura 20. Indicador de solución - Estado del arte.

8 Anexos

Tabla 25. Energía subsidiada por empresa distribuidora 2016 [40].

Empresa distribuidora	Energía subsidiada (GWh)
CNEL-Guayaquil	29,87
CNEL-Guayas Los Ríos	16,16
CNEL-Manabí	10,24
CNEL-Sto. Domingo	6,81
CNEL-EI Oro	6,04
CNEL-Milagro	5,22
CNEL-Sta.Elena	4,53
CNEL-Los Ríos	5,26
CNEL-Esmeraldas	3,59
CNEL-Sucumbíos	2,62
CNEL-Bolívar	0,76
E.E.Quito	40,24
E.E.Ambato	6,89
E.E.Centro Sur	4,09
E.E.Norte	3,54
E.E.Sur	3,16
E.E.Riobamba	1,43
E.E.Cotopaxi	0,53
E.E.Azogues	0,3
E.E.Galápagos	0,1

Tabla 26. Energía subsidiada por empresa distribuidora 2017 [41].

Empresa distribuidora	Energía subsidiada (GWh)
CNEL-Guayaquil	45,2
CNEL-Guayas Los Ríos	22,86
CNEL-Manabí	15,3
CNEL-Sto. Domingo	10,34
CNEL-EI Oro	9,51
CNEL-Milagro	8,05
CNEL-Sta.Elena	7,77
CNEL-Los Ríos	7,84
CNEL-Esmeraldas	6,57
CNEL-Sucumbíos	3,46
CNEL-Bolívar	1,33
E.E.Quito	62,36
E.E.Ambato	8,87

E.E.Centro Sur	6,65
E.E.Norte	6,48
E.E.Sur	5,14
E.E.Riobamba	2,24
E.E.Cotopaxi	1,22
E.E.Azogues	0,4
E.E.Galápagos	0,16

Tabla 27. Energía subsidiada por empresa distribuidora 2018 [39].

Empresa distribuidora	Energía subsidiada (GWh)
CNEL-Guayaquil	43,72
CNEL-Guayas Los Ríos	26,18
CNEL-Manabí	17,96
CNEL-Sto. Domingo	11,67
CNEL-EI Oro	11,09
CNEL-Milagro	9,29
CNEL-Sta.Elena	9,55
CNEL-Los Ríos	8,76
CNEL-Esmeraldas	6,9
CNEL-Sucumbíos	4,04
CNEL-Bolívar	1,39
E.E.Quito	71,87
E.E.Ambato	9,12
E.E.Centro Sur	6,98
E.E.Norte	8,02
E.E.Sur	6,12
E.E.Riobamba	2,77
E.E.Cotopaxi	1,66
E.E.Azogues	0,45
E.E.Galápagos	0,22

Tabla 28. Energía subsidiada por empresa distribuidora 2019 [37].

Empresa distribuidora	Energía subsidiada (GWh)
CNEL-Guayaquil	45,11
CNEL-Guayas Los Ríos	27,7
CNEL-Manabí	19,11
CNEL-Sto. Domingo	12,18
CNEL-EI Oro	12,11
CNEL-Milagro	10,81
CNEL-Sta.Elena	10,36

CNEL-Los Ríos	9,36
CNEL-Esmeraldas	7,1
CNEL-Sucumbíos	4,24
CNEL-Bolívar	1,34
E.E.Quito	71,87
E.E.Ambato	8,05
E.E.Centro Sur	7,27
E.E.Norte	8,26
E.E.Sur	6,15
E.E.Riobamba	2,87
E.E.Cotopaxi	1,81
E.E.Azogues	0,47
E.E.Galápagos	0,17

Tabla 29. Energía subsidiada por empresa distribuidora 2020 [38].

Empresa distribuidora	Energía subsidiada (GWh)
CNEL-Guayaquil	47,8
CNEL-Guayas Los Ríos	29,02
CNEL-Manabí	19,4
CNEL-Sto. Domingo	13,49
CNEL-EI Oro	13,43
CNEL-Milagro	12,12
CNEL-Sta.Elena	10,51
CNEL-Los Ríos	10,05
CNEL-Esmeraldas	7,24
CNEL-Sucumbíos	4,5
CNEL-Bolívar	1,44
E.E.Quito	78,68
E.E.Ambato	9,13
E.E.Centro Sur	7,79
E.E.Norte	9,37
E.E.Sur	6,43
E.E.Riobamba	3,15
E.E.Cotopaxi	1,94
E.E.Azogues	0,52
E.E.Galápagos	0,19

Tabla 30. Energía subsidiada por empresa distribuidora 2021 [36].

Empresa distribuidora	Energía subsidiada (GWh)
CNEL-Guayaquil	48,35

CNEL-Guayas Los Ríos	27,8
CNEL-Manabí	18
CNEL-Sto. Domingo	12,51
CNEL-EI Oro	11,98
CNEL-Milagro	10,36
CNEL-Sta.Elena	10,39
CNEL-Los Ríos	9,1
CNEL-Esmeraldas	7,11
CNEL-Sucumbíos	4,3
CNEL-Bolívar	1,32
E.E.Quito	73,79
E.E.Ambato	9,03
E.E.Centro Sur	7,54
E.E.Norte	9,28
E.E.Sur	6,05
E.E.Riobamba	3,05
E.E.Cotopaxi	1,99
E.E.Azogues	0,45
E.E.Galápagos	0,15

Tabla 31. Energía subsidiada por empresa distribuidora 2022 [18].

Empresa distribuidora	Energía subsidiada (GWh)
CNEL-Guayaquil	41,56
CNEL-Guayas Los Ríos	25,99
CNEL-Manabí	17,18
CNEL-Sto. Domingo	12,16
CNEL-EI Oro	11,33
CNEL-Milagro	9,65
CNEL-Sta.Elena	9,95
CNEL-Los Ríos	8,74
CNEL-Esmeraldas	6,9
CNEL-Sucumbíos	4,13
CNEL-Bolívar	1,15
E.E.Quito	68,35
E.E.Ambato	8,36
E.E.Centro Sur	7,1
E.E.Norte	8,32
E.E.Sur	5,42
E.E.Riobamba	2,9
E.E.Cotopaxi	1,87
E.E.Azogues	0,41

E.E.Galápagos	0,14
----------------------	------

Tabla 32. Consumo residencial promedio por empresa distribuidora 2016 [40].

Empresa distribuidora	Consumo mensual promedio (kWh/consumidor)
CNEL-Guayaquil	218,48
CNEL-Guayas Los Ríos	184,33
CNEL-Manabí	149,74
CNEL-Sto. Domingo	105,41
CNEL-EI Oro	131,89
CNEL-Milagro	127,1
CNEL-Sta.Elena	133,77
CNEL-Los Ríos	121,86
CNEL-Esmeraldas	124,25
CNEL-Sucumbíos	118,43
CNEL-Bolívar	66,58
E.E.Quito	141,61
E.E.Ambato	96,64
E.E.Centro Sur	100,33
E.E.Norte	93,71
E.E.Sur	81,99
E.E.Riobamba	81,14
E.E.Cotopaxi	86,1
E.E.Azogues	78,31
E.E.Galápagos	170,52

Tabla 33. Consumo residencial promedio por empresa distribuidora 2017 [41].

Empresa distribuidora	Consumo mensual promedio (kWh/consumidor)
CNEL-Guayaquil	212,55
CNEL-Guayas Los Ríos	180,85
CNEL-Manabí	144,74
CNEL-Sto. Domingo	109,11
CNEL-EI Oro	128,17
CNEL-Milagro	129,54
CNEL-Sta.Elena	134,21
CNEL-Los Ríos	123,48
CNEL-Esmeraldas	130,9
CNEL-Sucumbíos	114,19
CNEL-Bolívar	66,03
E.E.Quito	142,09
E.E.Ambato	97,26

E.E.Centro Sur	105,54
E.E.Norte	94,75
E.E.Sur	80,12
E.E.Riobamba	82,64
E.E.Cotopaxi	84,45
E.E.Azogues	77,16
E.E.Galápagos	172,26

Tabla 34. Consumo residencial promedio por empresa distribuidora 2018 [39].

Empresa distribuidora	Consumo mensual promedio (kWh/consumidor)
CNEL-Guayaquil	210,6
CNEL-Guayas Los Ríos	180,58
CNEL-Manabí	152,05
CNEL-Sto. Domingo	109,24
CNEL-EI Oro	129,38
CNEL-Milagro	130,27
CNEL-Sta.Elena	134,58
CNEL-Los Ríos	122,65
CNEL-Esmeraldas	137,28
CNEL-Sucumbíos	117,74
CNEL-Bolívar	65,41
E.E.Quito	139,73
E.E.Ambato	96,75
E.E.Centro Sur	97,43
E.E.Norte	95,61
E.E.Sur	82,95
E.E.Riobamba	83,37
E.E.Cotopaxi	82,78
E.E.Azogues	77,45
E.E.Galápagos	171,03

Tabla 35. Consumo residencial promedio por empresa distribuidora 2019 [37].

Empresa distribuidora	Consumo mensual promedio (kWh/consumidor)
CNEL-Guayaquil	192,62
CNEL-Guayas Los Ríos	159,27
CNEL-Manabí	110,35
CNEL-Sto. Domingo	134,71
CNEL-EI Oro	138,29
CNEL-Milagro	144,02
CNEL-Sta.Elena	130,4

CNEL-Los Ríos	134,51
CNEL-Esmeraldas	122,36
CNEL-Sucumbíos	63,78
CNEL-Bolívar	135,8
E.E.Quito	94,59
E.E.Ambato	96,26
E.E.Centro Sur	94,73
E.E.Norte	82,02
E.E.Sur	79,86
E.E.Riobamba	80,54
E.E.Cotopaxi	76,55
E.E.Azogues	180,93
E.E.Galápagos	230,34

Tabla 36. Consumo residencial promedio por empresa distribuidora 2020 [38].

Empresa distribuidora	Consumo mensual promedio (kWh/consumidor)
CNEL-Guayaquil	210,34
CNEL-Guayas Los Ríos	164,2
CNEL-Manabí	113,12
CNEL-Sto. Domingo	140,76
CNEL-EI Oro	144,07
CNEL-Milagro	145,39
CNEL-Sta.Elena	132,37
CNEL-Los Ríos	131,48
CNEL-Esmeraldas	128,64
CNEL-Sucumbíos	65,9
CNEL-Bolívar	138,27
E.E.Quito	94,74
E.E.Ambato	96,29
E.E.Centro Sur	96,76
E.E.Norte	84,55
E.E.Sur	78,67
E.E.Riobamba	81,62
E.E.Cotopaxi	78,15
E.E.Azogues	174,44
E.E.Galápagos	210,34

Tabla 37. Consumo residencial promedio por empresa distribuidora 2021 [36].

Empresa distribuidora	Consumo mensual promedio (kWh/consumidor)
-----------------------	---

CNEL-Guayaquil	216,72
CNEL-Guayas Los Ríos	200,25
CNEL-Manabí	155,99
CNEL-Sto. Domingo	114,17
CNEL-EI Oro	133,31
CNEL-Milagro	138,43
CNEL-Sta.Elena	143,52
CNEL-Los Ríos	132,21
CNEL-Esmeraldas	133,52
CNEL-Sucumbíos	126,87
CNEL-Bolívar	65,79
E.E.Quito	132,8
E.E.Ambato	93,34
E.E.Centro Sur	94,68
E.E.Norte	98,07
E.E.Sur	82,95
E.E.Riobamba	76,63
E.E.Cotopaxi	82,24
E.E.Azogues	75,69
E.E.Galápagos	166,33

Tabla 38. Consumo residencial promedio por empresa distribuidora 2022 [18].

Empresa distribuidora	Consumo mensual promedio (kWh/consumidor)
CNEL-Guayaquil	208,6
CNEL-Guayas Los Ríos	198,48
CNEL-Manabí	155,35
CNEL-Sto. Domingo	113,03
CNEL-EI Oro	130,4
CNEL-Milagro	136,69
CNEL-Sta.Elena	138,43
CNEL-Los Ríos	126,63
CNEL-Esmeraldas	130,11
CNEL-Sucumbíos	125,34
CNEL-Bolívar	64,15
E.E.Quito	128,03
E.E.Ambato	87,98
E.E.Centro Sur	93,24
E.E.Norte	94,93
E.E.Sur	84,11
E.E.Riobamba	72,78
E.E.Cotopaxi	80,66
E.E.Azogues	75,88

E.E.Galápagos	160,03
----------------------	--------

Tabla 39. Clientes residenciales por empresa distribuidora 2016 [40].

Empresa distribuidora	#Clientes residenciales
CNEL-Guayaquil	601385
CNEL-Guayas Los Ríos	301039
CNEL-Manabí	270661
CNEL-Sto. Domingo	191549
CNEL-El Oro	213010
CNEL-Milagro	125159
CNEL-Sta.Elena	106121
CNEL-Los Ríos	112046
CNEL-Esmeraldas	114284
CNEL-Sucumbíos	78716
CNEL-Bolívar	57228
E.E.Quito	925778
E.E.Ambato	222857
E.E.Centro Sur	331433
E.E.Norte	204970
E.E.Sur	171022
E.E.Riobamba	147361
E.E.Cotopaxi	117493
E.E.Azogues	32977
E.E.Galápagos	8825

Tabla 40. Clientes residenciales por empresa distribuidora 2017 [41].

Empresa distribuidora	#Clientes residenciales
CNEL-Guayaquil	622430
CNEL-Guayas Los Ríos	309441
CNEL-Manabí	296110
CNEL-Sto. Domingo	201639
CNEL-El Oro	218204
CNEL-Milagro	127024
CNEL-Sta.Elena	106845
CNEL-Los Ríos	111863
CNEL-Esmeraldas	117535
CNEL-Sucumbíos	82258
CNEL-Bolívar	58730
E.E.Quito	951670
E.E.Ambato	227601
E.E.Centro Sur	340938

E.E.Norte	208635
------------------	--------

E.E.Sur	175010
----------------	--------

E.E.Riobamba	148650
---------------------	--------

E.E.Cotopaxi	121178
---------------------	--------

E.E.Azogues	33512
--------------------	-------

E.E.Galápagos	9223
----------------------	------

Tabla 41. Clientes residenciales por empresa distribuidora 2018 [39].

Empresa distribuidora	#Clientes residenciales
CNEL-Guayaquil	619257
CNEL-Guayas Los Ríos	316518
CNEL-Manabí	296368
CNEL-Sto. Domingo	209798
CNEL-El Oro	222755
CNEL-Milagro	129663
CNEL-Sta.Elena	108614
CNEL-Los Ríos	116170
CNEL-Esmeraldas	120890
CNEL-Sucumbíos	83470
CNEL-Bolívar	60188
E.E.Quito	982141
E.E.Ambato	233516
E.E.Centro Sur	347595
E.E.Norte	213865
E.E.Sur	178886
E.E.Riobamba	151464
E.E.Cotopaxi	124500
E.E.Azogues	33805
E.E.Galápagos	9729

Tabla 42. Clientes residenciales por empresa distribuidora 2019 [37].

Empresa distribuidora	#Clientes residenciales
CNEL-Guayaquil	626002
CNEL-Guayas Los Ríos	321606
CNEL-Manabí	299685
CNEL-Sto. Domingo	217197
CNEL-El Oro	228518
CNEL-Milagro	133711
CNEL-Sta.Elena	111726
CNEL-Los Ríos	119422
CNEL-Esmeraldas	122047

CNEL-Sucumbíos	83395
CNEL-Bolívar	61406
E.E. Quito	1005882
E.E. Ambato	239038
E.E. Centro Sur	356727
E.E. Norte	218815
E.E. Sur	183537
E.E. Riobamba	154716
E.E. Cotopaxi	126859
E.E. Azogues	34593
E.E. Galápagos	10001

Tabla 43. Clientes residenciales por empresa distribuidora 2020 [38].

Empresa distribuidora	#Clientes residenciales
CNEL-Guayaquil	626476
CNEL-Guayas Los Ríos	327126
CNEL-Manabí	307844
CNEL-Sto. Domingo	224542
CNEL-EI Oro	236579
CNEL-Milagro	139443
CNEL-Sta.Elena	115579
CNEL-Los Ríos	126711
CNEL-Esmeraldas	119407
CNEL-Sucumbíos	85173
CNEL-Bolívar	62819
E.E. Quito	1023800
E.E. Ambato	245262
E.E. Centro Sur	365697
E.E. Norte	224418
E.E. Sur	187114
E.E. Riobamba	157761
E.E. Cotopaxi	129767
E.E. Azogues	35307
E.E. Galápagos	10362

Tabla 44. Clientes residenciales por empresa distribuidora 2021 [36].

Empresa distribuidora	#Clientes residenciales
CNEL-Guayaquil	634518
CNEL-Guayas Los Ríos	336222
CNEL-Manabí	310035
CNEL-Sto. Domingo	229516

CNEL-EI Oro	244186
CNEL-Milagro	143503
CNEL-Sta.Elena	119610
CNEL-Los Ríos	133354
CNEL-Esmeraldas	120297
CNEL-Sucumbíos	88372
CNEL-Bolívar	63497
E.E. Quito	1052689
E.E. Ambato	252651
E.E. Centro Sur	375653
E.E. Norte	228636
E.E. Sur	192294
E.E. Riobamba	160496
E.E. Cotopaxi	134521
E.E. Azogues	36105
E.E. Galápagos	10620

Tabla 45. Clientes residenciales por empresa distribuidora 2022 [18].

Empresa distribuidora	#Clientes residenciales
CNEL-Guayaquil	628705
CNEL-Guayas Los Ríos	332690
CNEL-Manabí	313290
CNEL-Sto. Domingo	233426
CNEL-EI Oro	247538
CNEL-Milagro	144249
CNEL-Sta.Elena	123969
CNEL-Los Ríos	133520
CNEL-Esmeraldas	122459
CNEL-Sucumbíos	92176
CNEL-Bolívar	64344
E.E. Quito	1076269
E.E. Ambato	258834
E.E. Centro Sur	383802
E.E. Norte	235039
E.E. Sur	198140
E.E. Riobamba	164878
E.E. Cotopaxi	135864
E.E. Azogues	36790
E.E. Galápagos	10968