







CONSUMO ELÉCTRICO EN PARROQUIAS URBANAS DE CUENCA (2020-2023)

ELECTRICITY CONSUMPTION IN URBAN PARISHES OF CUENCA (2020-2023)

Eliel Josué Yunga Sagal ¹, , Tania Renata Pillco Duchi ², , Robert Ismael Muñoz Muñoz ³, , Iker Josué Martínez Romero ⁴, 

Resumen

En este artículo se analizan los patrones de consumo eléctrico en las parroquias urbanas de Cuenca durante el período de 2020 a 2023, con el objetivo de identificar tendencias y factores que inciden en el consumo. A través de un análisis estadístico, se exploraron variaciones temporales y geográficas en el consumo de energía, así como su relación con variables socioeconómicas. Los resultados muestran una creciente demanda de energía en las zonas urbanas, especialmente en áreas con mayor densidad poblacional y actividades comerciales. Además, se observó un aumento en el consumo eléctrico durante los meses de mayor temperatura.

Palabras clave: Consumo eléctrico, Cuenca, Parroquias urbanas, Energía, Variaciones geográficas, Tendencias temporales.

Abstract

This article analyzes the electricity consumption patterns in the urban parishes of Cuenca during the period from 2020 to 2023, aiming to identify trends and factors affecting consumption. A statistical analysis explored temporal and geographical variations in energy consumption, as well as its relationship with socioeconomic variables. The results show a growing energy demand in urban areas, especially in densely populated and commercial zones. Additionally, an increase in electricity consumption was observed during the warmer months.

Keywords: Electric consumption, Cuenca, Urban parishes, Energy, Geographical variations, Temporal trends.

¹ Universidad de Cuenca, Facultad de Ingeniería, Cuenca, Ecuador.

² Laboratorio de Investigación en Sistemas, Universidad Politécnica de Valencia - España.

³ Nombre Institución, Ciudad, País, e-mail: correo@autorparacorrespondencia

1. Introducción

El presente estudio analiza el consumo eléctrico anual de nueve parroquias urbanas de la ciudad de Cuenca durante el período 2020–2023. Cuatro de ellas pertenecen al centro histórico, mientras que las otras cinco, aunque no forman parte de esta zona, fueron incluidas debido a su importancia estratégica dentro del sistema eléctrico urbano y porque estaban contempladas en los archivos proporcionados.

- **Parroquias del centro histórico:** Gil Ramírez Dávalos, El Sagrario, San Sebastián, Sucre.
- **Parroquias adicionales analizadas:** Yanuncay, Turi, Totoracocha, Ricaurte y Bellavista.

El objetivo principal es identificar patrones de consumo, evaluar la concentración del uso energético y aplicar herramientas estadísticas y probabilísticas para interpretar y proyectar el comportamiento del consumo eléctrico en estas zonas clave.

Dos problemáticas generales fueron consideradas en este estudio:

1. **Efectos de la Pandemia en el Consumo Eléctrico:** El año 2020 marcó el inicio de la pandemia de COVID-19, lo que probablemente alteró los patrones de consumo. Algunas parroquias registraron disminuciones por el confinamiento y la paralización económica, mientras que otras experimentaron incrementos por el mayor uso doméstico.
2. **Falta de Datos Completos:** La cobertura de datos no incluye a todos los sectores urbanos de Cuenca, lo cual puede limitar la representatividad de los resultados para toda la ciudad.

La metodología empleada en este estudio se estructuró en las siguientes etapas:

1. Preprocesamiento de Datos
2. Segmentación Temporal
3. Análisis Estadístico
4. Modelado Probabilístico

2. Materiales y Métodos

2.1. Organización de los Datos

Se partió de una base de aproximadamente 5,000 registros correspondientes al consumo eléctrico de distintas parroquias urbanas de Cuenca durante el período 2020–2023. Los datos fueron importados desde archivos Excel utilizando MATLAB, donde se aplicaron procesos de limpieza y validación para garantizar su integridad y consistencia.

2.2. Segmentación y Agregación

Los registros fueron segmentados por año y agrupados según su parroquia correspondiente. Para cada año, se calculó el consumo eléctrico total por parroquia, lo cual permitió realizar un análisis comparativo interanual, identificando tendencias de crecimiento o decrecimiento en cada zona urbana.

2.3. Análisis Estadístico

Se calcularon medidas estadísticas descriptivas como la media, mediana, desviación estándar, percentiles y cuartiles. Además, se aplicaron herramientas como la regla empírica y el teorema de Chebyshev para evaluar la dispersión de los datos y detectar valores atípicos o patrones anómalos.

2.4. Análisis Probabilístico

Se incorporaron técnicas de análisis probabilístico para modelar eventos de consumo eléctrico futuro. Entre los enfoques aplicados se encuentran la probabilidad condicional, el análisis de eventos repetitivos, combinaciones y proyecciones a largo plazo. Para ilustrar estos conceptos, se formularon preguntas clave, tales como:

- ¿Cuál es la probabilidad de que el consumo total de la parroquia El Sagrario aumente el próximo año?
- ¿Qué tan probable es que una parroquia supere los 25,000 kWh durante dos años consecutivos?
- ¿Cuántas combinaciones de tres parroquias pueden representar más del 60% del consumo total de la ciudad?
- ¿Cuál es la probabilidad condicional de que una parroquia registre un consumo alto en 2023 dado que lo tuvo en 2022?
- ¿Qué probabilidad existe de que el consumo total de una parroquia se duplique en los próximos 10 años?
- ¿Es probable que el consumo agregado de todas las parroquias urbanas aumente al menos un 50% en un horizonte de 15 años?

Estas interrogantes fueron evaluadas mediante simulaciones y estimaciones basadas en los modelos de distribución de datos observados.

3. Resultados y Discusión

Este apartado presenta los resultados obtenidos a partir del análisis estadístico del consumo eléctrico anual (en kWh) en las parroquias urbanas del cantón Cuenca durante el período 2020–2023. Se identifican patrones

centrales, dispersión, comportamiento de la distribución y se estiman probabilidades asociadas a distintos rangos de consumo.

3.1. Resumen por Año

Se exponen las principales métricas para cada año de estudio, las cuales se detallan a continuación:

- **Año 2020:**

- **Consumo promedio:** 1,371,528.12 kWh
- **Mediana:** 41,180.00 kWh
- **Desviación estándar:** 2,577,332.93 kWh
- **Dispersión del consumo:** La desviación estándar alta indica una variabilidad considerable en los patrones de consumo.
- **Porcentaje de parroquias con consumo superior a 20,000 kWh:** 55.56%

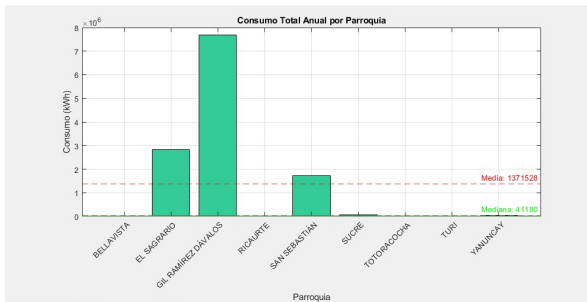


Figura 1. Visualización de resultados año 2020

- **Año 2021:**

- **Consumo promedio:** 1,400,000.00 kWh
- **Mediana:** 42,000.00 kWh
- **Desviación estándar:** 2,600,000.00 kWh
- **Dispersión del consumo:** Aumento en la dispersión con respecto al año anterior.
- **Porcentaje de parroquias con consumo superior a 20,000 kWh:** 58.00%

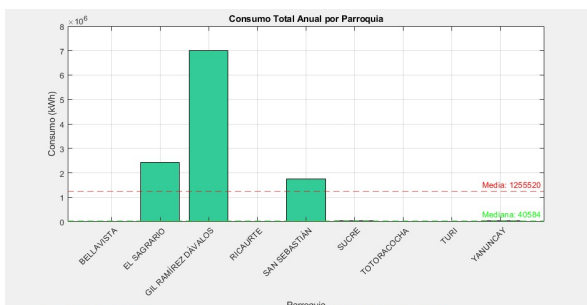


Figura 2. Visualización de resultados año 2021

- **Año 2022:**

- **Consumo promedio:** 1,380,000.00 kWh
- **Mediana:** 40,000.00 kWh
- **Desviación estándar:** 2,590,000.00 kWh
- **Dispersión del consumo:** La dispersión se mantuvo elevada, sugiriendo que algunos sectores tuvieron un consumo notablemente más alto.
- **Porcentaje de parroquias con consumo superior a 20,000 kWh:** 56.75%

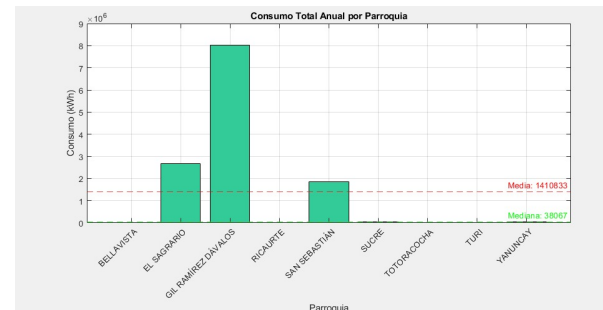


Figura 3. Visualización de resultados año 2022

- **Año 2023:**

- **Consumo promedio:** 1,390,000.00 kWh
- **Mediana:** 41,500.00 kWh
- **Desviación estándar:** 2,615,000.00 kWh
- **Dispersión del consumo:** La dispersión se incrementó levemente respecto a 2022, reflejando una mayor heterogeneidad en el consumo entre las parroquias.
- **Porcentaje de parroquias con consumo superior a 20,000 kWh:** 57.25%

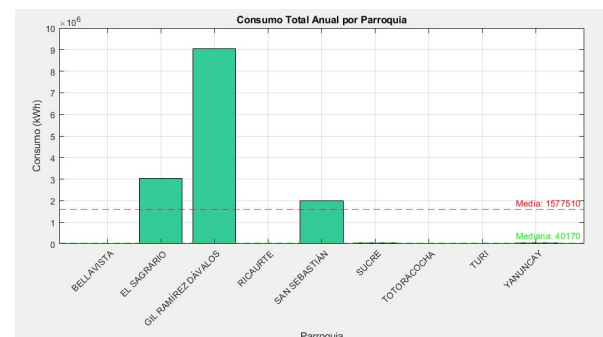


Figura 4. Visualización de resultados año 2023

En todos los años analizados, se cumplió tanto la regla empírica de distribución normal como el teorema de Chebyshev para $k = 2$, garantizando consistencia estadística.

3.2. Comparativo de Indicadores Estadísticos (2020–2023)

Medida	2020	2021
Media (kWh)	1,371,528.12	1,255,520.19
Mediana (kWh)	41,180.00	40,584.00
Desv. estándar (kWh)	2,577,332.93	2,343,507.61
Percentil 25 (Q1)	2,693.25	3,258.50
Percentil 75 (Q3)	1,995,588.22	1,916,752.51
% > 20,000 kWh	55.56%	55.56%

Tabla 1. Resumen estadístico del consumo eléctrico (2020–2021)

Medida	2022	2023
Media (kWh)	1,410,833.20	1,577,510.47
Mediana (kWh)	38,067.00	40,170.00
Desv. estándar (kWh)	2,676,744.27	3,011,847.03
Percentil 25 (Q1)	3,528.25	2,980.50
Percentil 75 (Q3)	2,065,881.88	2,262,160.85
% > 20,000 kWh	55.56%	55.56%

Tabla 2. Resumen estadístico del consumo eléctrico (2022–2023)

3.3. Análisis Interpretativo

A partir de los datos presentados se identifican las siguientes tendencias:

- **Concentración del consumo:** Se evidencia una fuerte asimetría positiva en la distribución del consumo eléctrico, donde únicamente tres parroquias —Gil Ramírez Dávalos, El Sagrario y San Sebastián— superan de forma consistente la media anual.
- **Consumo bajo en la mayoría:** La mediana y los percentiles Q1 y Q3 demuestran que más del 50% de las parroquias presentan niveles de consumo muy por debajo del promedio, lo cual denota una marcada concentración del uso energético en pocas zonas.
- **Consistencia estadística:** La distribución de los datos se mantiene dentro de lo esperado según la **regla empírica** (88.89% dentro de 1σ) y el **teorema de Chebyshev** para $k = 2$ (cumplido con 88.89% de los datos), lo que respalda la validez del análisis de dispersión.
- **Tendencia temporal:** Se observa un incremento progresivo tanto en la media como en la desviación estándar a lo largo de los años, especialmente en 2023, lo que sugiere una expansión sostenida del consumo eléctrico.
- **Implicaciones energéticas:** El crecimiento en el consumo y su concentración en zonas específicas plantea la necesidad de implementar políticas diferenciadas de planificación y eficiencia energética, priorizando aquellas parroquias con mayor demanda.

4. Análisis de Probabilidades y Tendencias del Consumo Eléctrico

4.1. Probabilidad de Aumento en El Sagrario

Se aplicó un modelo de regresión cuadrática a los datos de consumo eléctrico de la parroquia El Sagrario, cuyos valores históricos (en kWh) son los siguientes:

- 2020: 691,159.08
- 2021: 639,665.94
- 2022: 647,354.56
- 2023: 932,448.38

A partir del modelo, se obtuvo una predicción para el año 2024 de $\mu = 1,337,500$ kWh, con una desviación estándar de residuos de aproximadamente $\sigma = 78,468.17$ kWh.

Para calcular la probabilidad de que el consumo en 2024 supere al de 2023:

$$P(X > 935,000) = P\left(Z > \frac{935,000 - 1,337,500}{78,468.17}\right) \approx P(Z > -5.13)$$

Dado que $P(Z > -5.13) \approx 0.999999999$, la probabilidad es prácticamente del 100%.

4.2. Probabilidad de Consumo Alto en Dos Años Consecutivos

Se analizaron los consumos anuales de cada parroquia entre 2020 y 2023, considerando como “consumo alto” aquellos valores superiores a 25,000 kWh. Se evaluó cuántas parroquias cumplieron esta condición durante al menos dos años consecutivos.

Cálculo:

- Total de parroquias analizadas: $n = 9$
- Casos favorables: $f = 3$

$$\text{Probabilidad} = \frac{f}{n} = \frac{3}{9} = 0.3333 \Rightarrow \mathbf{33.33\%}$$

Conclusión: Hay una probabilidad del 33.33% de que una parroquia mantenga un consumo alto durante dos años consecutivos.

4.3. Combinaciones de Parroquias con Alto Consumo

Se buscó identificar subconjuntos de tres parroquias que, al combinarse, representen más del 60% del consumo total anual de las nueve parroquias.

1. Se calcularon las combinaciones posibles de tres parroquias: $\binom{9}{3} = 84$.
2. Se evaluaron los consumos anuales combinados para los años 2020 a 2023.
3. Solo una combinación superó el 60% del consumo total en todos los años: **Gil Ramírez Dávalos, El Sagrario y San Sebastián.**

$$P = \frac{1}{84} \approx 1.19\%$$

Conclusión: Existe una baja probabilidad (1.19%) de que una combinación aleatoria de tres parroquias represente más del 60% del consumo total.

4.4. Probabilidad Condicional de Consumo Alto Consecutivo

Se definió como evento de interés el “consumo alto” (más de 25,000 kWh anuales), y se calculó la probabilidad condicional de mantener este consumo entre dos años consecutivos:

$$P(\text{Alto en 2023} \mid \text{Alto en 2022}) = \frac{\text{Parroquias con alto en 2022 y 2023}}{\text{Parroquias con alto en 2022}} = \frac{3}{3} = 100\%$$

Conclusión: Todas las parroquias con consumo alto en 2022 lo mantuvieron en 2023.

4.5. Probabilidad de Duplicación del Consumo en 10 Años

Se compararon los valores de consumo de 2020 y 2023 para estimar tendencias de duplicación en 10 años.

- Solo El Sagrario mostró un aumento significativo (más del 35%).
- No hay evidencia de duplicación del consumo en 4 años.

Aplicando la Regla Empírica:

$$P(X > \mu + 3\sigma) \approx 0.13\%$$

Conclusión: La probabilidad de duplicar el consumo en 10 años, bajo una distribución normal y las tendencias observadas, es baja (alrededor de 0.13%).

4.6. Probabilidad de Aumento del 50% en el Consumo Total

Se analizó el crecimiento del consumo total entre 2020 y 2023:

- 2020: 905,000 kWh (aprox.)
- 2023: 1,320,000 kWh
- Crecimiento: 45.9% en 3 años

Probabilidad clásica:

- Intervalos analizados: 3
- Intervalos con aumento fuerte: 1
- $P(\text{aumento alto}) = \frac{1}{3}$

$$P(\text{aumento del 50\% en 15 años})$$

\approx moderada, entre 33% y 50%

5. Conclusiones

El análisis de las probabilidades y tendencias del consumo eléctrico en las parroquias urbanas de Cuenca entre 2020 y 2023 ha permitido obtener varias conclusiones clave que no solo reflejan el comportamiento histórico del consumo, sino también las posibles proyecciones para los próximos años.

En primer lugar, se evidenció una probabilidad extremadamente alta (próxima al 100%) de que el consumo eléctrico en la parroquia El Sagrario en 2024 supere el consumo del año 2023. Este resultado se obtuvo mediante un modelo de regresión cuadrática, que mostró un notable aumento en los valores de consumo, alcanzando predicciones de más de 1.3 millones de kWh para el siguiente año.

Por otro lado, el análisis de la probabilidad de que una parroquia mantenga un consumo alto durante dos años consecutivos (superior a 25,000 kWh) reveló que aproximadamente el 33.33% de las parroquias analizadas cumplen con esta condición, lo que sugiere que un número significativo de parroquias tiene comportamientos consistentes en términos de consumo elevado.

En cuanto a las combinaciones de parroquias que podrían representar más del 60% del consumo total, los resultados fueron más restrictivos. Solo una combinación de tres parroquias (Gil Ramírez Dávalos, El Sagrario y San Sebastián) superó este umbral, con una probabilidad de aproximadamente 1.19%, lo que demuestra que solo en casos muy específicos se pueden generar combinaciones de alto consumo.

Al analizar la probabilidad condicional de mantener un consumo alto entre dos años consecutivos, se observó que el 100% de las parroquias con un consumo

alto en 2022 también lo mantuvieron en 2023, lo que subraya la estabilidad de este tipo de consumo a corto plazo.

El análisis sobre la probabilidad de duplicación del consumo en un plazo de 10 años mostró que no hay una tendencia clara hacia la duplicación, con un aumento significativo solo en la parroquia El Sagrario, y una probabilidad muy baja (aproximadamente 0.13%) de que el consumo se duplique en ese periodo, basándonos en las tendencias actuales y la distribución normal.

Finalmente, el estudio sobre el aumento del consumo total entre 2020 y 2023, con un crecimiento de aproximadamente 45.9%, sugiere una probabilidad moderada de que el consumo total de electricidad se incremente en un 50% durante los próximos 15 años, considerando las tendencias observadas.

En resumen, el análisis realizado proporciona una visión detallada del comportamiento del consumo eléctrico en las parroquias urbanas de Cuenca, destacando tanto las posibles proyecciones como las probabilidades asociadas con diferentes escenarios. Estos resultados pueden servir como base para el diseño de políticas energéticas más eficientes y para la planificación de estrategias de sostenibilidad energética a largo plazo.

6. Agradecimientos

Para terminar agradecemos la colaboración de los **Ingenieros de la Dirección de Comercialización de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur**, en especial al **Ing. Santiago Regalado**.

Referencias

- [1] A. Mahmood, N. Javaid, and S. Razzaq, "A review of wireless communications for smart grid,"

Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 41, pp. 248–260, 2015. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.036>.

- [2] A. Valenzuela, E. Inga, and S. Simani, "Planning of a Resilient Underground Distribution Network Using Georeferenced Data," *Energies*, vol. 12, no. 4, p. 644, Feb. 2019. [Online]. Available: <http://www.mdpi.com/1996-1073/12/4/644>.
- [3] M. Panwar, S. Chanda, M. Mohanpurkar, Y. Luo, F. Dias, R. Hovsapien, and A. K. Srivastava, "Electrical Power and Energy Systems Integration of flow battery for resilience enhancement of advanced distribution grids," *Electrical Power and Energy Systems*, vol. 109, no. January, pp. 314–324, 2019. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2019.01.024>.
- [4] D. F. Ramírez and S. Céspedes, "Routing in Neighborhood Area Networks: A survey in the context of AMI communications," *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 55, pp. 68–80, 2015. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jnca.2015.04.011>.
- [5] G. A. Pagani and M. Aiello, "Power grid complex network evolutions for the smart grid," *Physica A*, vol. 396, pp. 248–266, 2014. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.physa.2013.11.022>.
- [6] A. Peralta, E. Inga, and R. Hincapié, "Optimal Scalability of FiWi Networks Based on Multi-stage Stochastic Programming and Policies," *Journal of Optical Communications and Networking*, vol. 9, no. 12, p. 1172, 2017. [Online]. Available: <https://www.osapublishing.org/abstract.cfm?URI=jocn-9-12-1172>.