UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE ELECTRICIDAD

MODELADO INTEGRAL DE LA MATRIZ ENERGÉTICA Y ANÁLISIS AVANZADO DEL BALANCE DE ENERGÍA EN EL CANTÓN CUENCA MEDIANTE EL MODELO LEAP

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

AUTORES: NUMAN GUSTAVO CASTILLO VICENTE
ANTHONY ADRIAN MALDONADO ATARIGUANA
TUTOR: ING. EDGAR ANTONIO BARRAGÁN ESCANDÓN, PhD.

Cuenca - Ecuador

2025

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Numan Gustavo Castillo Vicente con documento de identificación N° 1150723227 y Anthony Adrian Maldonado Atariguana con documento de identificación N° 0150067452; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos 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.

Cuenca, 17 de febrero del 2025

Atentamente,

Numan Gustavo Castillo Vicente
1150723227

Anthony Adrian Maldonado Atariguana
0150067452

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

Nosotros, Numan Gustavo Castillo Vicente con documento de identificación N° 1150723227 y Anthony Adrian Maldonado Atariguana con documento de identificación N° 0150067452, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto técnico: "Modelado integral de la matriz energética y análisis avanzado del balance de energía en el cantón Cuenca mediante el modelo LEAP", 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, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 17 de febrero del 2025

Atentamente,

Numan Gustavo Castillo Vicente
1150723227

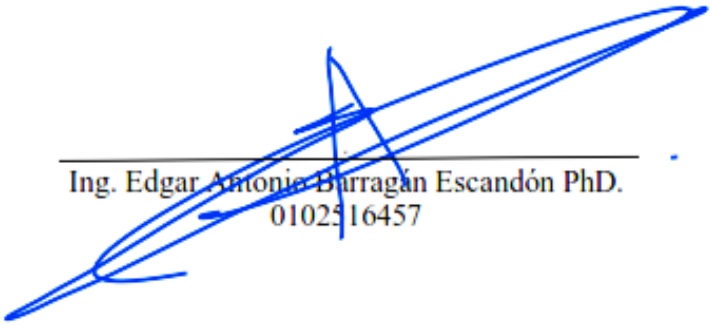
Anthony Adrian Maldonado Atariguana
0150067452

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Edgar Antonio Barragán Escandón con documento de identificación N° 0102516457, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: MODELADO INTEGRAL DE LA MATRIZ ENERGÉTICA Y ANÁLISIS AVANZADO DEL BALANCE DE ENERGÍA EN EL CANTÓN CUENCA MEDIANTE EL MODELO LEAP, realizado por Numan Gustavo Castillo Vicente con documento de identificación N° 1150723227 y por Anthony Adrian Maldonado Atariguana con documento de identificación N° 0150067452, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 17 de febrero del 2025

Atentamente,



Ing. Edgar Antonio Barragán Escandón PhD.
0102516457

DEDICATORIA

El presente proyecto de titulación quiero dedicarle primeramente a Dios por brindarme la vida y la salud, y de manera especial a mis padres Gustavo Castillo y Judit Vicente quienes han sido el pilar fundamental en mi desarrollo siendo mi apoyo incondicional y fuente de inspiración, a mi hermana Sisney Judit quien siempre estuvo cuando más la necesite, a toda mi familia que siempre están conmigo alentándome a superarme.

Castillo Vicente Numan Gustavo

A mi madre, Mayra Alexandra, quien ha sido el pilar fundamental en mi vida y en la realización de este trabajo. Su amor, esfuerzo y sacrificio me han dado la fuerza para seguir adelante. Todo lo que he logrado, lo hice por ella.

A mi abuela, que ahora me cuida desde el cielo.

A mi abuelo, cuyo apoyo incondicional ha sido una guía constante en este camino el me han impulsado a nunca rendirme y siempre estaré agradecido.

A toda mi familia, que ha estado presente en cada etapa de este proceso, brindándome su apoyo incondicional y motivándome a dar siempre lo mejor de mí.

A mis amigos, por su compañía, ánimo y por siempre estar cuando los necesito.

Maldonado Atariguana Anthony Adrian

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por proteger y bendecir a mi familia en cada momento, a mis padres ya que gracias a ellos he podido concluir mis estudios donde su apoyo fue total e incondicional, a mi hermana que siempre me acompaña y apoya en los momentos difíciles, a mi familia quienes siempre me han apoyado, a mis amigos que siempre han sido un apoyo además de motivarme a mejorar, y un agradecimiento especial para nuestro tutor de tesis Ing. Antonio Barragán quien siempre nos brindó ayuda y recomendaciones para culminar con éxito nuestro proyecto.

Castillo Vicente Numan Gustavo

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a Dios, quien me ha dado la vida, la fortaleza y las oportunidades necesarias para completar este proyecto.

A mi madre, quien ha sido mi mayor apoyo en cada momento de este camino. Su amor incondicional, sacrificio y palabras de aliento me han dado la fuerza para seguir adelante, incluso en los momentos más difíciles.

A mi familia, por estar siempre a mi lado, brindándome su apoyo incondicional, animándome a seguir adelante y nunca dejándome solo en este proceso

A mis amigos, quienes han compartido conmigo este camino, brindándome su compañía, su ánimo y su apoyo constante. Gracias por cada momento de motivación y por estar siempre presentes.

Un agradecimiento especial a Antonio Barragán, quien ha sido una excelente persona con nosotros. Su conocimiento, paciencia y orientación fueron claves para completar este proyecto. Su apoyo como tutor ha sido invaluable y siempre le estaremos agradecidos.

Finalmente, agradezco a todas las instituciones que nos proporcionaron la información necesaria para llevar a cabo esta investigación. Su colaboración fue fundamental para la realización de este trabajo y su aporte ha sido de gran valor para el desarrollo del estudio.

Maldonado Atariguana Anthony Adrian

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo modelar la matriz energética del cantón Cuenca y realizar un análisis avanzado del balance de energía mediante la herramienta LEAP (Long-range Energy Alternatives Planning). Se recopiló y procesó información de los sectores residencial, industrial, transporte, comercial y alumbrado público, permitiendo construir un diagnóstico detallado del sistema energético local.

Los resultados correspondientes al año 2021 evidencian una alta dependencia de combustibles fósiles, que representan el 81% del consumo total de energía, y destacan al sector transporte como el mayor consumidor energético, seguido por los sectores industrial y residencial. Además, se identificaron patrones de consumo específicos en cada sector, destacando el uso predominante de GLP y electricidad en el residencial, así como la diversidad de fuentes en el industrial.

Mediante el desarrollo de escenarios y el uso de diagramas de Sankey, se visualizó la distribución de los flujos energéticos, lo que permitió identificar áreas de mejora en eficiencia energética y posibles estrategias para reducir la dependencia de fuentes fósiles. Este análisis proporciona un marco replicable y adaptable para otras ciudades con características similares, posicionando a Cuenca como un referente en planificación energética sostenible.

Palabras claves: matriz energética, LEAP, kBEP, balance de energía, eficiencia energética, combustibles fósiles, sostenibilidad, diagrama de sankey.

SUMMARY

This study aims to model the energy matrix of Cuenca canton and conduct an advanced analysis of its energy balance using the LEAP (Long-range Energy Alternatives Planning) tool. Comprehensive data was collected and processed from key sectors, including residential, industrial, transport, commercial, and public lighting, enabling the development of a detailed diagnosis of the local energy system.

The findings reveal a significant reliance on fossil fuels, accounting for 81% of total energy consumption, with the transport sector identified as the largest energy consumer, followed by the industrial and residential sectors. Furthermore, specific consumption patterns were identified within each sector, highlighting the predominant use of LPG and electricity in the residential sector and the diverse energy sources used in the industrial sector.

By developing scenarios and employing Sankey diagrams, the study visualised energy flows and pinpointed opportunities for improving energy efficiency and reducing dependence on fossil fuels. The outcomes of this research offer a replicable framework for other cities with similar characteristics, establishing Cuenca as a model for sustainable energy planning.

Key words: energy matrix, LEAP, energy balance, energy efficiency, fossil fuels, sustainability.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Pág.
Carátula	I
Certificado de responsabilidad y autoría del trabajo de titulación	II
Certificado de cesión de derechos de autor	III
Certificado de dirección del trabajo de titulación	IV
Dedicatorias y agradecimientos	V
Resumen	IX
Summary	X
Índice General	XI
Índice de Tablas	XIV
Índice de figuras	XV
Introducción	18
CAPÍTULO I	**19**
EL PROBLEMA	**19**
1.1 Antecedentes	19
1.2 Importancia y alcances	22
Objetivos	24
Objetivo general	24
Objetivos específicos	24
CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO	**25**
2.1 Modelo LEAP (Long-range Energy Alternatives Planning) y simulación de	25
2.1.1 Aplicaciones del modelo LEAP en estudios internacionales.	25
2.1.2 Aplicaciones del modelo LEAP en estudios nacionales.	25
2.2 Introducción al sistema energético.	30
2.2.1 Conceptos básicos de energía.	30
2.2.2 Factores que influyen en la demanda energética.	31
2.3 Demanda energética.	32

2.3.1 Definición de demanda energética. 32
2.3.2 Evolución de la demanda en Cuenca (2015-2021). 33
2.3.3 Metabolismo urbano. 33
2.4 Diagramas de Sankey. 34
CAPÍTULO III
MARCO METODOLÓGICO 35
3.1 Recopilación de información
3.1.1 Energía eléctrica 36
3.1.2 Parque automotor 36
3.1.3 Combustibles fósiles 36
3.2 Uso del software LEAP 37
3.3 Procesamiento de datos 37
3.4 Estructuración de la línea base 38
3.5 Modelamiento de escenarios 38
3.6 Análisis de resultados 39
CAPÍTULO IV
RESULTADOS 40
4.1 Energía en el sector residencial 40
4.1.1 Cocción 43
4.1.2 Calentamiento de agua (ACS) 43
4.1.3 Iluminación 44
4.1.4 Refrigeración 45
4.1.5 Otros usos 46
4.2 Energía en el sector industrial 46
4.3 Energía en el sector transporte 49
4.4 Energía en el sector comercial 53
4.5 Energía en el sector alumbrado público 55
4.6 Balance de energía del cantón Cuenca 55
4.7 Ajuste y validación de datos 58
CAPÍTULO V
ANÁLISIS COMPARATIVO Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.
5.1 Comparación sector residencial 60

5.1.1 Incremento del consumo total 61
5.1.2 Aumento en el consumo energético total 61
5.1.3 Cocción y ACS (Agua Caliente Sanitaria) 62
5.1.4 Iluminación y refrigeración 62
5.1.5 Otros usos 63
5.2 Comparación sector Industrial 64
5.2.1 Cambios en el consumo de electricidad 66
5.2.2 Cambios en el consumo de gas natural 67
5.2.3 Cambios en el consumo de diésel 68
5.2.4 Cambios en el consumo de fuel oíl 69
5.2.5 Cambios en el consumo de gas licuado de petróleo (GLP) 70
5.3 Comparación del sector del Transporte 71
5.3.1 Cambios en el consumo de electricidad 72
5.3.2 Cambios en el consumo de gasolina 73
5.3.3 Cambios en el consumo de diésel 74
5.3.4 Cambios en el consumo de GLP 75
5.4 Comparación del sector comercial 75
5.4.1 Cambios en el consumo de electricidad 76
5.4.2 Cambios en el consumo de GLP 77
5.5 Comparación del sector Alumbrado Público 77
5.6 Comparación del sector Otros 79

Discusión 82

Conclusiones 84
Recomendaciones 87
Bibliografía 88

ÍNDICE DE TABLAS

Contenido	Pág.
Tabla 1. Distribución de la energía en el sector residencial.	42
Tabla 2. Información necesaria para el modelo Leap – Residencial Cocción.	43
Tabla 3. Información necesaria para el modelo Leap – Residencial ACS	44
Tabla 4. Información necesaria para el modelo Leap – Residencial. Iluminación.	44
Tabla 5. Información necesaria para el modelo Leap – Residencial Refrigeración.	45
Tabla 6. Información necesaria para el modelo Leap – Residencial Otros Usos.	46
Tabla 7. Valor agregado y energía eléctrica en la industria en el cantón Cuenca.	48
Tabla 8. Energéticos consumidos por la industria en el cantón Cuenca.	49
Tabla 9. Intensidades energéticas del transporte.	53
Tabla 10. Valor agregado y energía en el sector comercial en el cantón Cuenca.	54
Tabla 11. Valor agregado y energía en el sector alumbrado público del cantón Cuenca.	55
Tabla 12. Balance de energía del cantón cuenca 2021.	58
Tabla 13. Ajuste entre las bases de datos y el modelo LEAP.	59
Tabla 14. Datos sector residencial Cuenca urbano 2015-2021.	61
Tabla 15. Datos sector industrial Cuenca urbano 2015-2021.	65
Tabla 16. Datos sector transporte Cuenca urbano 2015-2021.	72
Tabla 17. Datos sector comercial Cuenca urbano 2015-2021.	75
Tabla 18. Datos sector alumbrado público Cuenca urbano 2015-2021.	77
Tabla 19. Datos otros sectores Cuenca urbano 2015-2021	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido	Pág.
Figura 1. Metodología.	35
Figura 2. Usos de la energía en el sector residencial.	41
Figura 3. Estructura de demanda del sector residencial.	42
Figura 4. Estructura de demanda del sector Industrial.	47
Figura 5. Participación energética de la industria.	48
Figura 6. Estructura de demanda del sector Transporte.	50
Figura 7. Participación Energética Trasporte.	51
Figura 8. Participación Energética Trasporte (Combustibles).	52
Figura 9. Participación Energética Sector Comercial.	54
Figura 10. Diagrama de Sankey del cantón Cuenca 2021.	57
Figura 11. Participación energética sector residencial Cuenca urbano 2015 - 2021.	64
Figura 12. Participación energética sector industrial Cuenca urbano 2015 - 2021.	64
Figura 13. Consumo eléctrico en el sector industrial Cuenca urbano 2015 - 2021.	66
Figura 14. Consumo de gas natural en el sector industrial Cuenca urbano 2015 - 2021.	67
Figura 15. Consumo de diésel en el sector industrial Cuenca urbano 2015 - 2021.	68
Figura 16. Consumo de fuel oíl en el sector industrial Cuenca urbano 2015 - 2021.	69
Figura 17. Consumo de gas licuado de petróleo en el sector industrial Cuenca urbano 2015 - 2021.	70
Figura 18. Participación energética sector trasporte (pasajeros) Cuenca urbano 2015 - 2021.	71
Figura 19. Participación energética sector trasporte (carga) Cuenca urbano 2015 - 2021.	71
Figura 20. Participación eléctrica en el sector trasporte Cuenca urbano 2015 - 2021.	73
Figura 21. Participación de gasolina en el sector trasporte Cuenca urbano 2015 - 2021.	73

Figura 22. Participación de diésel en el sector trasporte
Cuenca urbano 2015 - 2021. 74

Figura 23. Participación energética en el sector comercial
Cuenca urbano 2015 - 2021. 75

Figura 24. Participación eléctrica en el sector comercial
Cuenca urbano 2015 - 2021. 76

Figura 25. Participación de GLP en el sector comercial
Cuenca urbano 2015 - 2021. 77

Figura 26. Participación de energética en el sector Alumbrado Publico
Cuenca urbano 2015 - 2021. 78

Figura 27. Participación de energética en el sector Otros
Cuenca urbano 2015 - 2021. 79

INTRODUCCIÓN

El crecimiento poblacional, la urbanización y la expansión de sectores clave como el residencial, industrial y de transporte han generado un aumento sostenido en la demanda energética del cantón Cuenca en los últimos años. Este incremento ha puesto de manifiesto la necesidad de adoptar estrategias más eficientes y sostenibles en la gestión de los recursos energéticos, tanto para satisfacer las necesidades actuales como para mitigar los impactos ambientales derivados de una alta dependencia de combustibles fósiles.

En este contexto, el presente trabajo utiliza el modelo LEAP (Long-range Energy Alternatives Planning), una herramienta avanzada de análisis energético que permite simular escenarios a largo plazo, evaluando los flujos de energía, los costos asociados, y el impacto ambiental de diferentes políticas y tecnologías. La aplicación de este modelo en Cuenca resulta especialmente pertinente debido a su capacidad para integrar variables económicas, sociales y ambientales, proporcionando una visión integral para la planificación energética sostenible.

El objetivo principal de esta investigación es modelar la matriz energética del cantón Cuenca y analizar el balance de energía bajo distintos escenarios, enfocándose en la transición hacia energías renovables y la implementación de medidas de eficiencia energética. Para ello, se realiza un análisis detallado de la demanda energética en sectores clave, complementado con la proyección de escenarios futuros que permitan evaluar el impacto de políticas públicas y tecnologías emergentes.

Este trabajo no solo busca contribuir al diseño de estrategias energéticas más sostenibles para Cuenca, sino también establecer un marco de referencia replicable en otras ciudades intermedias de características similares. La transición energética no solo es esencial para mitigar el cambio climático, sino también para garantizar un desarrollo económico y social equilibrado a largo plazo, posicionando a Cuenca como un modelo en la planificación energética sostenible.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 ANTECEDENTES.

La proyección de la demanda energética es fundamental en la planificación del sector eléctrico. Este tema ha sido objeto de estudio desde la década de 1950 [1], y su análisis se ha intensificado desde los años 70, especialmente tras las crisis del petróleo, cuando se hizo evidente la necesidad de entender y gestionar adecuadamente la demanda energética. Tradicionalmente, la demanda de electricidad ha sido considerada como una variable que debe ser satisfecha sin restricción. Los operadores del sistema eléctrico han realizado importantes inversiones en infraestructura para asegurarse de que el suministro sea suficiente para cubrir la demanda instantánea, expresada en kilovatios kW o megavatios MW. Este enfoque ha fomentado una filosofía de servicio en la que los consumidores tienen libertad para decidir cuánto energía desean utilizar, y el sistema se organiza para atender esa demanda. Sin embargo, en tiempos recientes, este modelo ha sido revisado para identificar métodos que ofrezcan mayor flexibilidad y permitan adaptar la demanda a los precios de la electricidad. Esto es especialmente relevante en situaciones de generación limitada o cuando los costos son elevados.

Barragán (2018) [2], analiza la situación energética de Cuenca desde un enfoque integral, centrado en el metabolismo urbano. Utilizando el modelo LEAP, se realizaron balances energéticos y proyecciones de escenarios futuros. Se observa que, aunque es factible disminuir la dependencia de combustibles fósiles mediante la adopción de energías renovables, el total autoabastecimiento de la ciudad aún no es viable debido a su considerable dependencia de estos recursos. Este estudio se enfoca en el potencial de autoabastecimiento, aunque no aborda a fondo la evolución específica de la demanda energética en sectores clave como el transporte, la industria y el sector residencial en los últimos años.

Además [3], utilizó el software LEAP (Long-range Energy Alternatives Planning System) como herramienta para el desarrollo y evaluación de escenarios urbano-energéticos aplicados al sector residencial de la ciudad de La Plata. A partir de la construcción de un "año base", se integraron datos urbano-energéticos mediante un enfoque multinivel que abarcó desde el análisis global (ciudad y sector residencial) hasta el análisis detallado (viviendas individuales). Sobre esta base, se desarrollaron dos escenarios: el "tendencial", que proyecta el crecimiento natural de la demanda energética sin modificaciones significativas, y el "eficiente", que incorpora medidas específicas de eficiencia energética y energías renovables, ajustadas a las particularidades de las áreas homogéneas residenciales.

Los resultados obtenidos demostraron que la aplicación de estas estrategias puede reducir considerablemente la demanda energética del sector residencial, optimizar el uso de los recursos disponibles y disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, contribuyendo de manera sustancial a la sostenibilidad energética. Asimismo, el estudio destaca la capacidad del software LEAP para procesar datos complejos, integrar múltiples variables y apoyar la planificación energética de largo plazo, ofreciendo una metodología replicable y adaptable a otros contextos urbanos.

En otro estudio [4], se analizó el consumo energético del sector residencial en las zonas urbanas y rurales del cantón Cuenca mediante la aplicación del modelo LEAP, con una proyección del periodo 2017-2030. Para ello, se diseñaron 12 escenarios basados en diversas medidas de eficiencia energética, como iluminación eficiente, tecnologías de cocción eficientes, uso de GLP optimizado, implementación de calentadores solares y eléctricos, refrigeración eficiente, artefactos de bajo consumo y programas de concientización. Además, se establecieron tres alternativas que integraron estas medidas para evaluar su impacto combinado en el consumo energético y las emisiones de gases de efecto invernadero.

Los resultados mostraron que la implementación de tecnologías de cocción a GLP fue la medida más eficaz para controlar la demanda energética, mientras que los calentadores eléctricos presentaron el mayor impacto en la reducción de emisiones de

CO2. En conjunto, las alternativas planteadas proyectaron ahorros significativos en el consumo energético total y reducciones sustanciales en las emisiones equivalentes de CO2 al año 2030, evidenciando el potencial de las estrategias de eficiencia energética para promover un desarrollo sostenible en el sector residencial del cantón Cuenca.

Sharma [5], destaca la relevancia de la previsión de la demanda y la gestión del consumo en sectores como el residencial, industrial y agrícola, especialmente en el contexto del crecimiento urbano y la expansión industrial. Al emplear tecnologías de redes inteligentes, se puede optimizar la gestión de la energía a través de predicciones precisas de la demanda y ajustes en el consumo en momentos de baja demanda. Esto subraya el papel crucial de la gestión de la demanda para equilibrar el suministro energético con las necesidades de consumo, un aspecto que aún no se ha abordado en la planificación energética de Cuenca. En cuanto a la demanda energética del país, se ha incrementado un 71% entre 2005 y 2015, alcanzando un consumo de 94 millones de BEP (barriles equivalentes de petróleo), con un 19% de participación del sector industrial [6].

El cantón Cuenca ha registrado un notable aumento en su demanda energética en los últimos años, impulsado por el crecimiento poblacional y la expansión del sector residencial. El modelo LEAP se ha utilizado para simular diferentes escenarios energéticos, evaluando el impacto de diversas políticas de eficiencia y ofreciendo proyecciones precisas sobre el comportamiento energético futuro de Cuenca [7].

El modelo LEAP permite modelar flujos energéticos entre las diferentes tecnologías utilizadas para el abastecimiento, identificar las necesidades de expansión en los procesos de producción, calcular el uso de recursos, impactos ambientales y costos asociados.

Los escenarios generados en LEAP ofrecen una representación detallada de cómo la energía es consumida, transformada y producida en una región. Estos escenarios se construyen a partir de una variedad de supuestos, incluyendo el crecimiento

poblacional, el desarrollo económico, la evolución tecnológica y la variación en los precios de la energía [8].

Por otro lado, Salami [9] analiza la evolución del consumo energético en el sector residencial a nivel global, abarcando estudios sobre políticas energéticas y estrategias de eficiencia implementadas en ciudades de Europa, Asia y África. Su investigación destaca cómo el uso de tecnologías más eficientes y la diversificación de la matriz energética han contribuido a reducir la demanda de energía y minimizar el impacto ambiental en distintos contextos urbanos.

El estudio concluye que una combinación de enfoques de planificación *top-down y bottom-up* es esencial para estimar de manera precisa el consumo en el sector residencial, lo cual podría ser útil para Cuenca al analizar los patrones de consumo en esta área. Además, se destaca la importancia de las políticas energéticas renovables para disminuir la dependencia de fuentes fósiles. El análisis de la demanda energética en Cuenca es esencial, dado el crecimiento poblacional y la expansión del sector residencial, que han elevado el consumo energético en años recientes. Entre 2015 y 2021, se observó un aumento del 37,76% en el consumo de electricidad y GLP, superando al sector industrial. La implementación del modelo LEAP en este contexto permite proyectar escenarios de demanda a largo plazo, evaluando el impacto de diferentes políticas energéticas y medidas de eficiencia necesarias para el desarrollo sostenible de la región [10].

1.2 Importancia y alcances.

El cantón Cuenca ha experimentado un aumento ininterrumpido en la demanda de energía, debido al aumento de la población, la expansión de asentamientos urbanos y el crecimiento del consumo en los subsectores residencial, industrial y de transporte. La situación descrita plantea desafíos importantes en el ámbito del suministro de energía sostenible, la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero y la supresión de una proporción significativa de fuentes fósiles.

Sus alcances incluyen la identificación de oportunidades para optimizar el uso de recursos energéticos, reducir la dependencia de combustibles fósiles y mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero. Además, los resultados obtenidos podrán servir como una herramienta práctica para la planificación estratégica, beneficiando a gobiernos locales, empresas del sector energético y otros actores clave en la toma de decisiones sostenibles.

1.3 Importancia.

Este proyecto no solo busca abordar las necesidades energéticas inmediatas de Cuenca, sino también sentar las bases para una transición energética sostenible, posicionando al cantón Cuenca como un modelo para la gestión energética en ciudades de tamaño intermedio. Al integrar herramientas avanzadas como software LEAP y considerar un enfoque completo, el proyecto se alinea con las metas globales de desarrollo sostenible y la lucha contra el cambio climático.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Modelar la matriz energética del cantón Cuenca, evaluando la participación de las diferentes fuentes de energía que conforman su sector energético, utilizando el modelo LEAP.

OBJETIVO ESPECÍFICOS

1. Determinar y obtener los parámetros que intervienen en la construcción del balance de energía en la ciudad de Cuenca.

2. Desarrollar el balance de energía del cantón Cuenca a partir de los parámetros definidos mediante la herramienta LEAP.

3. Comparar la situación actual del balance energético a partir del diagrama de Sankey obtenido con el modelo LEAP.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Modelo LEAP (*Long-range Energy Alternatives Planning*) y simulación de escenarios.

El modelado de escenarios energéticos es esencial para planificar estrategias sostenibles a largo plazo. Herramientas como el modelo LEAP facilitan la visualización de cómo la demanda de energía puede evolucionar bajo diferentes contextos. En la ciudad de Cuenca, LEAP ha sido utilizado para evaluar el impacto de la adopción de energías renovables y políticas de eficiencia energética, ofreciendo una visión clara de las posibles trayectorias energéticas [11].

Además, LEAP permite simular el efecto de diversas políticas energéticas, como la reducción de emisiones de CO2 o el incremento en la proporción de energías renovables en la matriz energética. Estas simulaciones son fundamentales para analizar el impacto de dichas políticas sobre el uso de recursos no renovables y la sostenibilidad de los sistemas energéticos locales, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones informadas [28].

2.1.1 Aplicaciones del modelo LEAP en estudios internacionales.

El modelo LEAP ha sido utilizado en múltiples estudios internacionales para la planificación energética y la evaluación de escenarios sostenibles. A continuación, se presentan algunas aplicaciones destacadas:

Chile: El Programa de Gestión y Economía Ambiental de la Universidad de Chile desarrolló un modelo energético nacional utilizando LEAP para proyectar la demanda energética hasta 2050. Este estudio evaluó el impacto de diversas políticas de eficiencia energética en sectores como transporte, residencial e industrial. Los resultados destacaron que, con políticas de eficiencia energética moderadas, el país podría reducir su intensidad energética en un 20 % para 2035, y con políticas más agresivas, hasta en un 30 % para 2050. Además, el análisis permitió identificar áreas prioritarias, como la electrificación del transporte y la

promoción de energías renovables, como estrategias fundamentales para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) [55].

Cuba: En Cuba, el Instituto Nacional de Investigaciones Económicas utilizó LEAP para construir escenarios prospectivos enfocados en la transición energética del país. Este análisis incluyó el desarrollo de tres escenarios: tendencial, eficiencia y renovables. Los investigadores concluyeron que una combinación de políticas que prioricen la energía renovable y la eficiencia energética podría reducir en un 30 % la dependencia del petróleo importado para 2030. Además, el estudio destacó la importancia de diversificar la matriz energética mediante la incorporación de fuentes como la eólica, solar y biomasa, como alternativa sostenible a la elevada dependencia de combustibles fósiles [56].

España: En el contexto europeo, España ha empleado LEAP para evaluar estrategias de descarbonización en sectores como el residencial. Un estudio enfocado en este sector permitió simular el impacto de la implementación de medidas de eficiencia energética, como el uso de sistemas de calefacción más eficientes y el aislamiento térmico de viviendas. Los resultados mostraron que estas medidas podrían reducir el consumo energético residencial hasta en un 25 % para 2030, lo que, a su vez, disminuiría significativamente las emisiones de CO_2 en el país. Este estudio también subrayó la necesidad de incentivar la electrificación del consumo en los hogares mediante fuentes renovables para reducir aún más las emisiones de GEI [57].

Colombia: En Colombia, LEAP fue utilizado para analizar la evolución del sector eléctrico y proyectar su demanda energética bajo diferentes escenarios de crecimiento económico y políticas de sostenibilidad. El estudio destacó que, en un escenario de alta penetración de renovables, Colombia podría alcanzar una reducción de emisiones del 40 % para 2040. Además, el análisis permitió identificar que la dependencia de hidrocarburos podría disminuir

significativamente si se adoptan políticas enfocadas en la integración de fuentes como la eólica y solar, así como la modernización de la infraestructura eléctrica [58].

República Dominicana: La Comisión Nacional de Energía de República Dominicana, en colaboración con la Fundación Bariloche, utilizó LEAP para modelar la evolución de la demanda energética del país hasta 2040. Este estudio incorporó variables como crecimiento poblacional, desarrollo económico y avances tecnológicos en su análisis. Entre los hallazgos más importantes, se destacó que la integración de fuentes renovables, como la solar y eólica, podría cubrir hasta un 35 % de la demanda energética proyectada para 2040, reduciendo las emisiones de CO_2 en un 25 %. El estudio también subrayó la importancia de desarrollar políticas que promuevan la eficiencia energética en sectores clave, como el transporte y la industria, para maximizar los beneficios ambientales y económicos [59].

Sudáfrica: En Sudáfrica, Mokwena et al. utilizaron LEAP para analizar la transición energética del país mediante la construcción de escenarios de electrificación y alta penetración de fuentes renovables. En el escenario más ambicioso, que priorizaba la generación eólica y solar, las emisiones de CO_2 podrían reducirse en un 40 % para 2050, mientras que el costo de generación se reduciría significativamente debido a la disminución de los costos tecnológicos asociados a las energías renovables. El estudio también subrayó la importancia de desarrollar infraestructura eléctrica robusta para soportar una transición eficiente y sostenible hacia una matriz energética renovable [60].

Estos estudios internacionales no solo demuestran la flexibilidad y robustez de LEAP como herramienta de planificación energética, sino que también resaltan su utilidad para evaluar el impacto de políticas específicas en diferentes contextos. Además, permiten identificar patrones comunes, como la necesidad de diversificar

la matriz energética, promover la eficiencia y priorizar el uso de fuentes renovables para garantizar la sostenibilidad a largo plazo.

2.1.2 Aplicaciones del modelo LEAP en estudios nacionales.

En Ecuador, el modelo LEAP ha sido aplicado en diversos estudios enfocados en la planificación energética y la reducción de emisiones. A continuación, se presentan algunas aplicaciones relevantes:

Proyección energética y de emisiones en el sector transporte del cantón Cuenca

En el cual utilizó el modelo LEAP para analizar el consumo energético del parque automotor de Cuenca y proyectar la demanda de combustibles y emisiones hasta el año 2030. Su estudio incluyó distintos escenarios de crecimiento vehicular y políticas de movilidad sostenible. A través del modelado, identificó que sin medidas de mitigación, las emisiones del sector transporte aumentarían de manera significativa. Sin embargo, mediante la electrificación del transporte, el uso de biocombustibles y la optimización del transporte público, se podría lograr una reducción del 30% en las emisiones de CO2. Asimismo, el estudio destacó la importancia de fortalecer la infraestructura de movilidad sostenible, como la implementación de ciclovías y la modernización del parque automotor [61]

Análisis de escenarios de eficiencia energética en el sector residencial del cantón Cuenca

En el presente realizaron una modelación del consumo energético en el sector residencial de Cuenca mediante LEAP. Su investigación evaluó el impacto de diferentes medidas de eficiencia energética entre 2017 y 2030, analizando la introducción de tecnologías de iluminación LED, electrodomésticos de bajo consumo y la optimización del aislamiento térmico en viviendas. Los resultados indicaron que la adopción de estas medidas podría generar una reducción del 25% en el consumo eléctrico residencial y disminuir la presión sobre la red de generación

eléctrica. Además, el estudio enfatizó la necesidad de implementar programas de incentivos para la adopción de tecnologías más eficientes y campañas de concienciación sobre el uso racional de la energía [62].

Prospectiva de autogeneración en Ecuador mediante el uso del modelo LEAP

En el proyecto aplicaron LEAP para estimar la penetración futura de la autogeneración con paneles solares en Ecuador hasta el año 2050. Su análisis determinó que, bajo un escenario favorable de incentivos y reducción de costos tecnológicos, hasta el 17% de la capacidad eléctrica instalada podría provenir de generación distribuida con energía solar, cubriendo aproximadamente el 5.7% de la demanda nacional de electricidad. Además, el estudio evaluó el impacto de diferentes esquemas de tarifas de compra de excedentes de energía fotovoltaica y su viabilidad económica. Se concluyó que la implementación de políticas de incentivos, como tarifas de alimentación y subsidios a la instalación de paneles, sería clave para fomentar la adopción de esta tecnología en hogares y sectores comerciales [63]

Impacto del Programa de Eficiencia Energética en la Cocción (PEC) en el sector residencial ecuatoriano

En el presente análisis se utilizó LEAP para evaluar el impacto del Programa de Eficiencia Energética en la Cocción (PEC), el cual promovió el reemplazo de cocinas a gas por cocinas de inducción. El estudio analizó la reducción del consumo de gas licuado de petróleo (GLP) y su impacto en la matriz energética nacional. Se identificó que el programa logró una disminución del 40% en el consumo de GLP en los hogares beneficiados y una reducción del 35% en las emisiones de CO2 relacionadas con la cocción de alimentos. No obstante, también se señalaron desafíos, como la necesidad de fortalecer la infraestructura de generación eléctrica para absorber la mayor demanda y la resistencia de ciertos sectores de la población al cambio tecnológico debido a costos iniciales elevados [64].

Proyección de la demanda eléctrica en Ecuador

En la presente proyección se llevó a cabo un estudio para estimar la evolución de la demanda eléctrica en Ecuador considerando factores como el crecimiento poblacional, la industrialización y la implementación de medidas de eficiencia energética. Su modelación incluyó distintos escenarios de desarrollo económico y analizó el impacto de la electrificación de sectores clave, como el transporte y la industria. Los resultados mostraron que, en un escenario de eficiencia energética y crecimiento sostenido, la demanda eléctrica podría aumentar en un 60% para 2050. Sin embargo, si se implementaran estrategias de diversificación energética y optimización del consumo, este incremento podría moderarse hasta un 40%, reduciendo la necesidad de expansión acelerada de la capacidad de generación. El estudio recomendó la promoción de fuentes renovables para sostener el crecimiento energético sin comprometer la sostenibilidad ambiental [65].

2.2. Introducción al sistema energético.

2.2.1 Conceptos básicos de energía:

El sistema energético comprende todos los procesos vinculados a la generación, distribución y consumo de energía. Este sistema se divide en dos categorías principales: la energía primaria y la energía secundaria. La energía primaria incluye fuentes como el sol, el viento y el agua, mientras que la energía secundaria se refiere a la electricidad y otros tipos de energía transformada [1].

Energía eléctrica: Esta clase de energía se origina a partir del movimiento de cargas eléctricas y es esencial en diversos sectores, como la industria, los hogares y el transporte.

Combustibles fósiles: Estos combustibles, que incluyen el petróleo y el gas natural, se generan a partir de los restos de organismos que han pasado por un largo proceso de descomposición. Son ampliamente utilizados en la producción de electricidad, en el transporte y como materias primas en la industria petroquímica.

Petróleo: Este recurso se utiliza para la producción de combustibles como la gasolina y el diésel, desempeñando un papel crucial en el transporte y la industria.

Gas licuado de petróleo GLP: El Gas Licuado de Petróleo GLP consiste en una mezcla de hidrocarburos, especialmente propano y butano, que se produce mediante la refinación del petróleo o el procesamiento del gas natural. Este tipo de combustible es versátil y limpio, utilizado tanto para calefacción y cocinas en el hogar como en diversas aplicaciones industriales, y su transporte es relativamente sencillo.

2.2.2 Factores que influyen en la demanda energética.

El crecimiento poblacional, el desarrollo industrial y los avances tecnológicos son factores cruciales que afectan la demanda energética. Estos factores exigen un enfoque robusto en la planificación energética [4], por múltiples factores, que incluyen:

Crecimiento poblacional: El aumento de la población, como en el caso de Cuenca, proyectado de 603,268 habitantes en 2017 a 745,048 en 2030, incrementa la demanda de energía para satisfacer las necesidades básicas de la sociedad.

Desarrollo industrial y económico: El crecimiento de la actividad industrial y comercial impulsa el consumo energético, particularmente en sectores como transporte y manufactura.

Avances tecnológicos: La introducción de tecnologías más eficientes y su impacto en el uso de fuentes de energía secundarias, como electricidad y GLP, destaca la importancia de analizar estrategias de eficiencia energética.

Estilos de vida y urbanización: El cambio hacia un mayor consumo en zonas urbanas aumenta la demanda en el sector residencial, debido a actividades como iluminación, refrigeración y cocción.

Políticas energéticas: Iniciativas gubernamentales, como programas de eficiencia energética y subsidios, afectan los patrones de consumo y el desarrollo de infraestructuras energéticas.

Condiciones climáticas y geográficas: Estas determinan el uso energético para calefacción o refrigeración, particularmente en regiones con demandas estacionales marcadas.

2.3. Demanda energética.

2.3.1 Definición de demanda energética.

La demanda energética representa la cantidad de energía requerida por una sociedad para cubrir sus necesidades en los sectores residencial, industrial, comercial y de transporte. Esta demanda está influenciada por varios factores, como el crecimiento poblacional, el desarrollo económico, las polí ticas energéticas y los avances tecnológicos. La correcta predicción y planificación de la demanda energética son esenciales para garantizar un equilibrio sostenible entre la oferta y el consumo de energía, evitando deficiencias en el suministro y sobrecarga en las infraestructuras energéticas [16].

Las metodologías para predecir la demanda energética han evolucionado significativamente, integrando ahora enfoques más precisos y dinámicos como redes neuronales artificiales y modelos híbridos que permiten incorporar múltiples variables. Estos enfoques no solo mejoran la precisión de las estimaciones, sino que también ayudan a las autoridades a planificar políticas energéticas y asignar recursos de manera más eficiente, anticipando cambios en la demanda debido a factores como el cambio climático o la introducción de tecnologías renovables [17]. Además, modelos como LEAP permiten analizar la demanda no solo a nivel agregado, sino también desagregada por sectores, facilitando la evaluación detallada de patrones de consumo.

2.3.2 Evolución de la demanda en Cuenca (2015-2021).

Entre 2015 y 2021, la demanda energética en Cuenca ha experimentado un crecimiento sostenido debido a varios factores, entre ellos, el aumento poblacional

y la expansión de sectores clave como el residencial y el industrial. El uso de gas licuado de petróleo (GLP) en el sector residencial ha desempeñado un papel fundamental en este crecimiento, dado que numerosos hogares en la ciudad dependen de esta fuente de energía no solo para cocinar, sino también para garantizar una calefacción eficiente. El consumo de GLP en el sector residencial ha superado incluso el uso de electricidad en ciertos períodos, lo que indica una dependencia importante de esta fuente fósil [9]. A medida que la población continúa creciendo y la urbanización avanza, se proyecta que la demanda energética en Cuenca seguirá aumentando. Esto resalta la importancia de desarrollar estrategias de eficiencia energética y promover la transición hacia fuentes de energía renovables. Las políticas públicas deben enfocarse en reducir la dependencia de combustibles fósiles y fomentar el uso de tecnologías limpias, que no solo ayuden a satisfacer la de 10 manda creciente, sino que también contribuyan a la sostenibilidad ambiental a largo plazo [6].

2.3.3 Metabolismo urbano.

El concepto de metabolismo urbano se refiere al análisis de cómo las ciudades funcionan como sistemas que consumen recursos por ejemplo energía, agua, alimentos y transforman esos recursos en bienes y servicios, generando residuos en el proceso. A diferencia del metabolismo natural, que es cíclico, el metabolismo urbano tiende a ser lineal, con entradas masivas de recursos y grandes cantidades de desechos que causan contaminación y comprometen la sostenibilidad [18]. En el contexto de Cuenca, aplicar el enfoque del metabolismo urbano es clave para identificar oportunidades de eficiencia energética. El modelo actual de consumo energético en la ciudad depende en gran parte de fuentes lineales de energía como el GLP y la electricidad, generando emisiones de CO2 y otros contaminantes. La transición hacia un metabolismo urbano circular, mediante el uso de energías renovables como el biogás de rellenos sanitarios y la energía solar, permitiría disminuir la dependencia de recursos externos y reducir los residuos generados [19].

El modelo LEAP es una herramienta útil para evaluar el metabolismo urbano energético de Cuenca, permitiendo simular diferentes escenarios de consumo y analizar cómo las decisiones de planificación urbana pueden impactar tanto la demanda energética como las emisiones asociadas. Implementar políticas que promuevan el uso de tecnologías más limpias y eficientes contribuiría a la creación de un entorno más sostenible para la ciudad [11].

2.4 Diagramas de Sankey.

Los diagramas de Sankey son una herramienta visual fundamental para la representación de los flujos energéticos en un sistema. Permiten identificar de manera clara las pérdidas y el uso de los recursos energéticos, lo que los convierte en un recurso clave para mejorar la eficiencia en la planificación energética. En Cuenca, estos diagramas han sido especialmente útiles para detectar ineficiencias en los flujos energéticos, proporcionando información valiosa para optimizar el sistema energético local [29].

Además de su capacidad para visualizar flujos energéticos, los diagramas de Sankey facilitan la identificación de áreas críticas en la distribución energética, contribuyendo a una mejor gestión de los recursos. Cuando se integran con herramientas como el modelo LEAP, ofrecen un enfoque más completo para la planificación estratégica a largo plazo, permitiendo decisiones más fundamentadas y sostenibles [30].

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

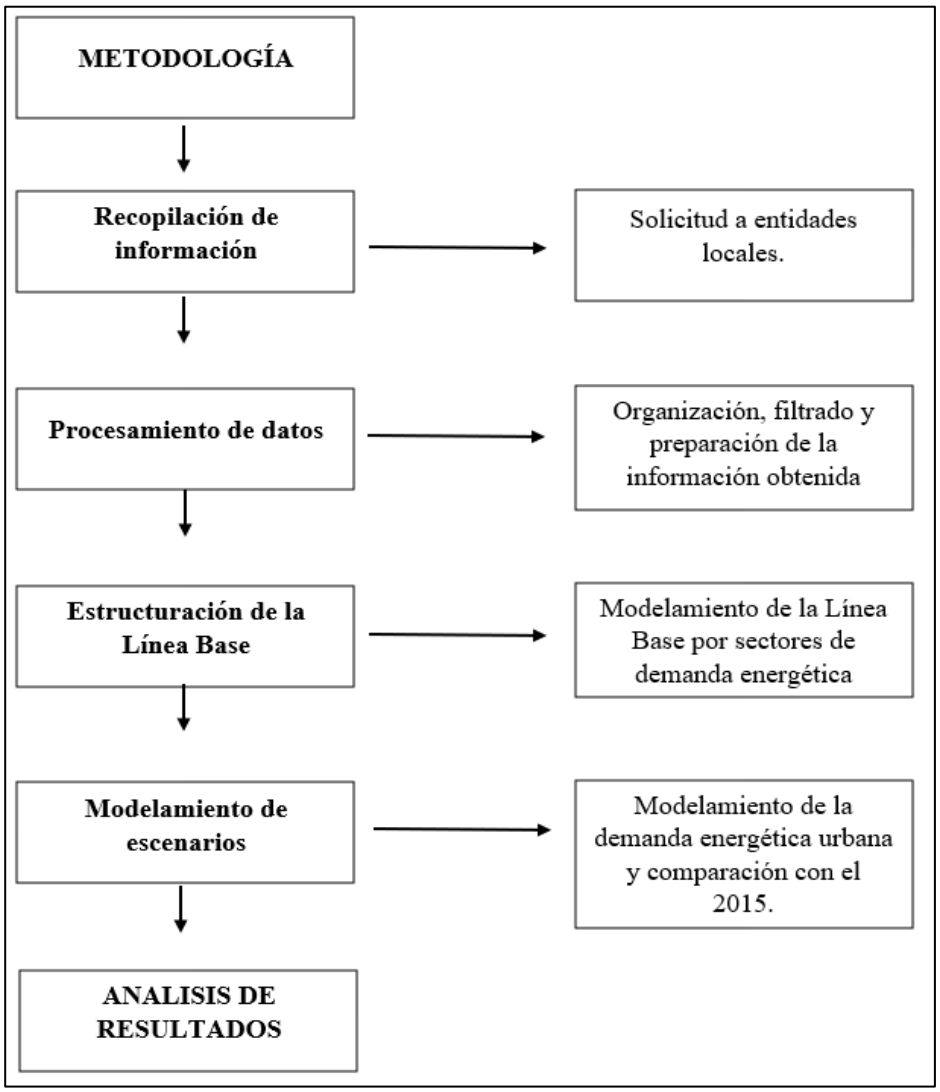


Figura 1. Metodología.
Fuente: Elaboración Propia.

La metodología aplicada en este estudio fue diseñada para garantizar un análisis riguroso y estructurado de la demanda energética en el cantón Cuenca. Se desarrollaron diversas etapas interrelacionadas, cada una orientada a recopilar, procesar y modelar la información necesaria para cumplir con los objetivos planteados. A continuación, se describen detalladamente las actividades realizadas en cada fase del proceso metodológico:

3.1. Recopilación de información.

Para este proyecto, los datos se recopilaron mediante un enfoque descriptivo y de campo, utilizando información proporcionada por fuentes oficiales como la Empresa

Eléctrica Centro Sur [38], el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) [42], la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCH) [37] y EMOV EP [39], así como datos de los balances energéticos nacionales elaborados por el Ministerio de Energía y Minas, investigaciones previas de universidades locales, información del Banco Central y otros documentos estadísticos relevantes. Este proceso permitió obtener un panorama claro sobre las características del sistema energético en el cantón Cuenca

3.1.1 Energía eléctrica.

La Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A. proporcionó datos detallados sobre el consumo de energía eléctrica en el cantón Cuenca correspondientes al año 2021 [38]. La información, presentada en kilovatios-hora (kWh), está desglosada por sectores: residencial, comercial, industrial, alumbrado público y otros, tanto en áreas urbanas como rurales. Estos datos son fundamentales para realizar un análisis exhaustivo del uso energético en diferentes contextos y sectores.

3.1.2 Parque automotor.

Con el objetivo de analizar la dinámica del transporte en el cantón Cuenca, se solicitó información específica a EMOV EP [39]. Los datos recopilados abarcan los años 2020 y 2021 e incluyen información sobre la cantidad total de vehículos matriculados, su clasificación (particulares o públicos), tipos de combustible utilizados, cilindraje, kilómetros recorridos, modelos y otras características relevantes. Esta información es esencial para comprender el impacto del parque automotor en el consumo energético regional.

3.1.3 Combustibles fósiles.

La Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero (ARCH) proporcionó datos clave sobre el consumo de combustibles fósiles en el cantón Cuenca para el año 2021 [37]. Los datos incluyen el consumo de diésel, gasolina, GLP (gas licuado de petróleo), gas natural y bunker, junto con los destinos específicos de cada combustible. Estos datos son cruciales para identificar tendencias y patrones en el consumo energético basado en combustibles fósiles en la región.

3.2 Uso del software Leap.

El modelo LEAP (Long-range Energy Alternatives Planning) desempeñó un papel central en este estudio como herramienta de planificación energética. Su implementación permitió caracterizar los flujos energéticos, tanto directos como indirectos, y desagregar la demanda de energía por sectores, tales como el residencial, industrial, transporte y comercial [2].

El enfoque principal fue identificar las necesidades energéticas de la ciudad de Cuenca y analizar cómo los diferentes portadores energéticos sustentan las actividades urbanas. Se desarrolló un diagnóstico energético integral que abarca desde los recursos primarios hasta el consumo final, considerando aspectos como la producción, transformación, importación y consumo de energía en la ciudad.

La metodología empleada se basó en un enfoque bottom-up, modelando la demanda energética mediante la división de los sectores en subcategorías según los tipos de uso energético. En este contexto, se utilizaron como parámetros clave el nivel de actividad y la intensidad energética para la formulación del modelo.

Aunque los datos se obtuvieron de diversas instituciones locales, nacionales e internacionales, en muchos casos fue necesario realizar estimaciones específicas para la ciudad de Cuenca debido a la falta de datos desagregados adecuados. Estas estimaciones garantizaron un análisis más ajustado a la realidad energética local [2].

3.3. Procesamiento de datos.

Una vez obtenida la información, se llevó a cabo un proceso de filtrado y selección de los datos relevantes para el escenario que sería modelado en la herramienta LEAP. Para ello, se utilizó Excel como herramienta principal para depurar, organizar y estructurar la información recopilada, garantizando así la calidad y pertinencia de los datos a utilizar en el modelo.

3.4. Estructuración de la línea Base.

En esta etapa, se desarrolló la línea base del modelo energético para el cantón de Cuenca. Se utilizaron las capacidades del software LEAP para desagregar e incorporar datos clave, como los supuestos poblacionales, económicos, energéticos y sectoriales previamente detallados. Además, se integraron sectores de demanda energética tales como el residencial, industrial, transporte, comercial, alumbrado público y otros. Los apartados de Transformación, Recursos e Indicadores en LEAP no fueron incluidos, ya que sus valores se generan automáticamente a partir de los datos introducidos.

El cálculo del consumo total final de energía se realiza con la siguiente fórmula [53], que corresponde al concepto de metabolismo urbano de las ciudades:

$$EC_n = \Sigma_i \Sigma_j AL_{k,j,i} x El_{k,j,i}$$

Ecuación 3.4.1

Donde:

EC es el consumo de energía total de un sector.

AL indica el nivel de actividad.

EI es la intensidad energética.

k representa el tipo de combustible.

i corresponde al sector.

j se refiere al equipamiento.

3.5. Modelamiento de escenarios.

Esta etapa implicó el análisis de la información procesada, centrada en la zona urbana de Cuenca, con el objetivo de realizar una comparación de la evolución de la demanda energética. Este análisis se contrastó con el estudio realizado por el Ing. Antonio Barragán en su tesis doctoral titulada "El Autoabastecimiento Energético en los Países en Vías de Desarrollo en el Marco del Metabolismo Urbano: Caso Cuenca, Ecuador". Este enfoque permitió evaluar la coherencia y evolución de la demanda energética en función de las proyecciones y estudios previos.

3.6. Análisis de resultados.

Finalmente, se realizó un análisis de los resultados obtenidos tras el modelamiento.

Este análisis permitió identificar tendencias clave en la demanda energética y generar conclusiones útiles para el desarrollo de estrategias y políticas energéticas en el cantón Cuenca.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

.

Este capítulo se enfoca en exponer y discutir los principales hallazgos obtenidos durante el desarrollo de la investigación. A través de un análisis exhaustivo, se presentan los datos procesados con herramientas avanzadas, como el modelo LEAP, para comprender las dinámicas energéticas del cantón Cuenca. Este análisis busca responder preguntas clave relacionadas con el consumo, la eficiencia y las oportunidades para mejorar la sostenibilidad energética en los sectores evaluados.

Cada subsección aborda de manera específica el desempeño energético de los sectores residencial, industrial, transporte, comercial y alumbrado público. Además, se destacan las comparaciones sectoriales que permiten identificar patrones y áreas críticas que podrían beneficiarse de políticas energéticas más eficientes. Este enfoque no solo valida las hipótesis iniciales, sino que también proporciona insumos relevantes para la planificación estratégica en materia de energía.

4.1 Energía en el sector residencial.

El modelado del sector residencial se realizó utilizando un enfoque bottom-up, tal como lo sugiere [2]. Este método permitió desagregar la demanda energética en actividades específicas y analizar los patrones de consumo propios del sector residencial.

El análisis segmentó al sector en cinco categorías principales: cocción de alimentos, calentamiento de agua, iluminación, refrigeración y otros usos diversos. Esta segmentación facilitó la comprensión detallada del consumo energético en los hogares y permitió identificar áreas clave para mejorar la eficiencia.

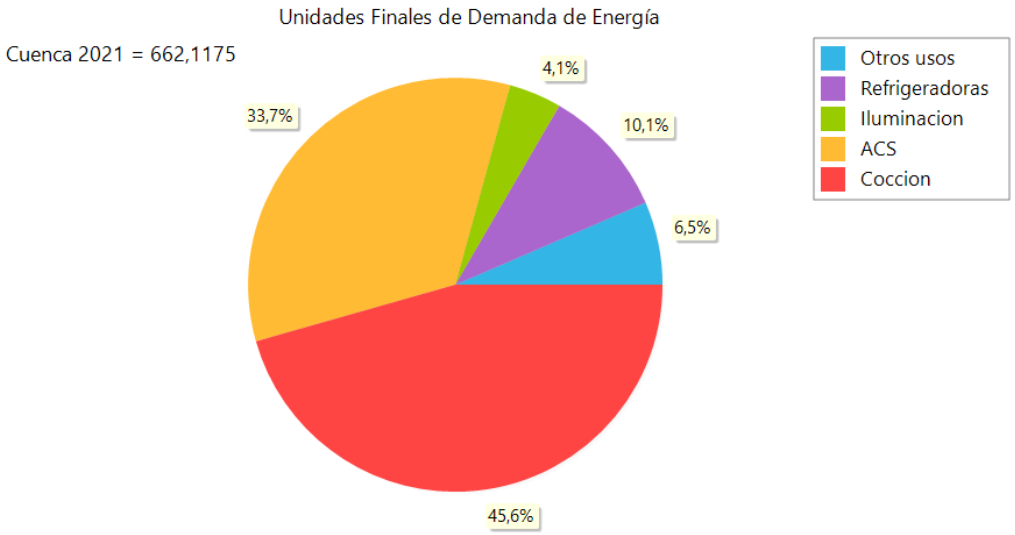


Figura 2. Usos de la energía en el sector residencial.
Fuente: Elaboración Propia.

Para construir el árbol o la estructura de demanda en el modelo, se utilizó la ecuación 3.4.1, que permitió calcular la demanda energética total considerando el nivel de actividad (AL) y la intensidad energética (EI). Los datos necesarios para este cálculo se presentan en la Tabla 1, donde se muestra la distribución del uso de la energía en el sector residencial del cantón Cuenca. En la Figura 2, se observa que la mayor proporción del consumo corresponde a la cocción de alimentos, seguida por el calentamiento de agua (ACS) y la refrigeración.

El árbol de demanda que se muestra en la Figura 3 permitió visualizar las contribuciones específicas de cada actividad y fuente energética, además de identificar áreas críticas de ineficiencia. Este análisis es fundamental para diseñar estrategias que impulsen la sostenibilidad energética y reduzcan el consumo en el sector residencial del cantón Cuenca [2].

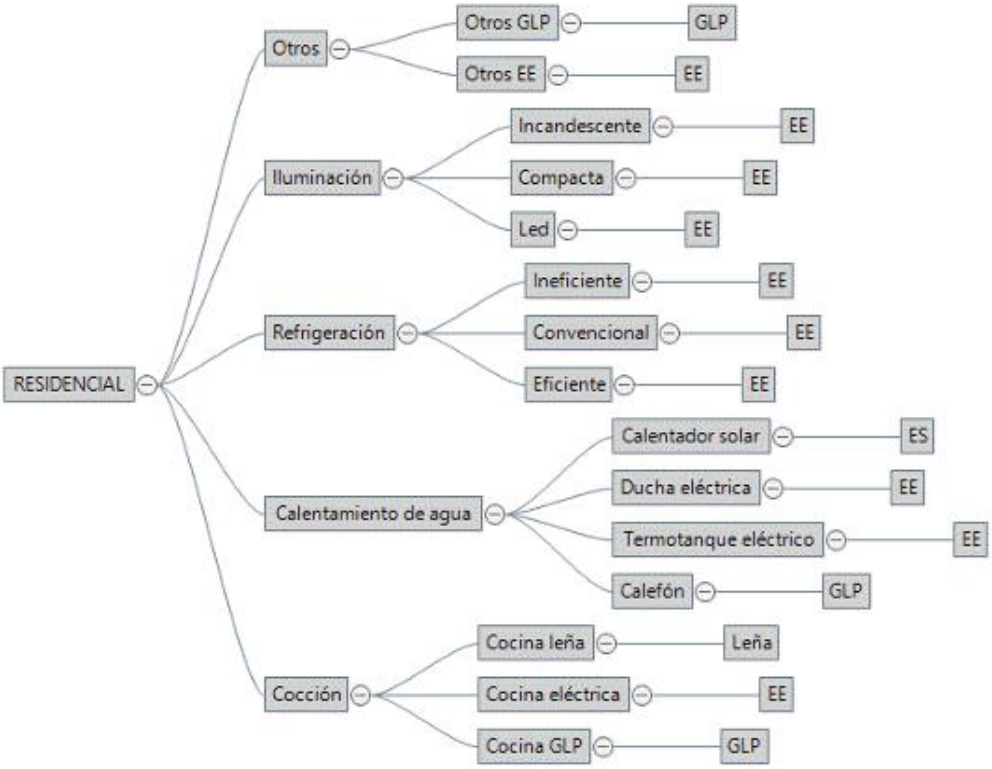


Figura 3. Estructura de demanda del sector residencial.
Fuente: Barragán, 2018 [2].

Tabla 1. Distribución de la energía en el sector residencial.

Sector Residencial		
Total de energía	662.1175	KBEP
Segmento	**Cantidad (KBEP)**	**Porcentaje de participación**
Cocción	301,89	46%
ACS	222,86	34%
ILUMINACION	27,20	4%
REFRIGERACION	67,17	10%
OTROS USOS	42,99	6%

Fuente: Elaboración Propia.

4.1.1 Cocción.

El principal combustible utilizado para la cocción en el sector residencial del cantón Cuenca es el gas licuado de petróleo (GLP), seguido de la electricidad. Según el Boletín Nacional: Acceso a Bienes y Servicios, el GLP se posiciona como la fuente predominante debido a su amplia disponibilidad y a los subsidios estatales, mientras que la electricidad tiene una participación menor en esta actividad [40].

Para estructurar el modelo energético en LEAP, se consideraron parámetros clave como la electrificación del área urbana, que alcanza un 98,7 %, y la saturación del uso de GLP frente a electricidad, que es del 98,2 % en los hogares. En el análisis, se incluyeron 183,194 hogares, con base en datos oficiales proporcionados por el INEC [42]. La Tabla 2 resume los valores necesarios para modelar el consumo de energía en la cocción, tal como se especifica en la Ecuación 3.4.1 donde se necesitan valores del consumo total de energía, AL, EI, etc.

Tabla 2. Información necesaria para el modelo Leap – Residencial Cocción.

Cocción					
Electrificación área Urbana	98,7%	**Saturación**	98,2%	**AL**	183194 hogares
Tipo	**Eficiencia (%)**	**Referencia**	**AL (%)**	**Referencia**	**EI (kWh/hogar)**
Cocina GLP	45	[41]	96,7	[40]	1366,42
ELECTRIDAD	80	[41]	3,3	[40]	

Fuente: Elaboración Propia.

4.1.2 Calentamiento de Agua (ACS).

Mediante estudios realizados por Martínez 2010 [46], se determinó que el 13 % de la electricidad se destina a fines de calentamiento. Asimismo, asumiendo que el 40 % del GLP se utiliza con el mismo propósito, se procede a calcular la intensidad energética (IE) correspondiente [2].

Para estructurar el modelo LEAP, es necesario contar con ciertos datos clave, los cuales se presentan en la Tabla 3, como parte de los insumos fundamentales para el análisis.

Tabla 3. Información necesaria para el modelo Leap – Residencial ACS.

Calentamiento de Agua					
Saturación	100%	referencia Ucuenca		**AL**	183194 hogares
Tipo	**Eficiencia (%)**	**Referencia**	**AL (%)**	**Referencia**	**EI (kWh/hogar)**
Calefón de GLP	45	[47]	89	[45]	1037,58
Calentador Eléctrico	70	[47]	1	[45]	
Ducha Electica	60	[47]	10	[45]	

Fuente: Elaboración Propia.

4.1.3 Iluminación.

Para la parte de iluminación residencial, el suministro energético se basa exclusivamente en electricidad. Como se menciona en (Elaboración de la Prospectiva Energética del Ecuador 2012-2040) [49] este hecho refleja la dependencia de los hogares en este recurso para satisfacer sus necesidades de iluminación, lo que también destaca la importancia de garantizar un acceso confiable y eficiente a este servicio. Además, el consumo de electricidad en iluminación representa un porcentaje significativo dentro del uso energético total del sector residencial [48].

Para poder estructurar el modelo LEAP, es fundamental contar con la información detallada que se presenta en la Tabla 4. Estos datos son esenciales para garantizar una adecuada implementación y análisis del modelo, Dado que se ha identificado la información necesaria para aplicar la Ecuación 3.4.1 y determinar el consumo final total de energía.

Tabla 4. Información necesaria para el modelo Leap – Residencial. Iluminación.

Iluminación					
Electrificación área Urbana	98,7%	**Saturación**	100,0%	**AL**	183194 hogares
Tipo	**Eficiencia (%)**	**Referencia**	**AL (%)**	**Referencia**	**EI (kWh/hogar)**
Incandescente	5	[49]	13,9	[48]	38,66
Led	40	[49]	1,8	[48]	

Compacta	20	[49]	80,9	[48]	
Fluorescente	25	[49]	3,4	[48]	

Fuente: Elaboración Propia.

4.1.4 Refrigeración.

En el caso de la refrigeración, varios estudios realizados por universidades locales han señalado que más del 40 % de la energía consumida en el sector residencial se destina a este propósito [46]. Este dato subraya la importancia de la refrigeración como un componente clave dentro del consumo energético en los hogares. Para abordar esta categoría, se han clasificado los equipos en diferentes ramas según su nivel de eficiencia: refrigeradoras eficientes, convencionales e ineficientes, tal como se observa en la Tabla 5. Esta clasificación se basa principalmente en los años de uso de los equipos, dado que el envejecimiento tecnológico afecta directamente su desempeño energético, tal como se establece en la Ecuación 3.4.1, donde se determina el consumo final total de energía. De esta manera, se busca identificar patrones de consumo y establecer estrategias que fomenten la adopción de tecnologías más eficientes, contribuyendo a la reducción del consumo energético [2].

Para poder estructurar el modelo LEAP, se requieren los siguientes datos:

Tabla 5. Información necesaria para el modelo Leap – Residencial Refrigeración.

Refrigeración			
Electrificación área Urbana	98,7%	**Saturación**	89,0%
AL	183194 hogares		
Tipo	**AL (%)**	**Referencia**	**EI (kWh/hogar)**
Eficientes	25,9	[50]	367,86
Convencionales	25,9	[50]	633,70
ineficientes	48,2	[50]	981,0

Fuente: Elaboración Propia.

4.1.5 Otros usos.

En el caso de otros usos dentro del sector residencial, aproximadamente el 25 % de la energía consumida se destina a actividades como la limpieza, el funcionamiento de diversos electrodomésticos, entre otros [46]. Este consumo está vinculado exclusivamente al uso de electricidad, lo que resalta su papel fundamental en la vida cotidiana de los hogares. Entre los equipos involucrados se incluyen lavadoras, aspiradoras, planchas y otros dispositivos que contribuyen al confort y la eficiencia en las tareas domésticas [2].

Tabla 6. Información necesaria para el modelo Leap – Residencial Otros Usos.

Tipo	AL (%)	EI (kWh/hogar)
ELECTRICIDAD	100	4118,56
GLP	0	

Fuente: Elaboración Propia

4.2 Energía en el sector Industrial.

El sector industrial del cantón Cuenca fue modelado utilizando un enfoque bottom-up, que permitió segmentarlo en nueve ramas principales. Esta clasificación se basó en la información de *Office of Energy Efficiency and Renewable Energy de los Estados Unidos (2018)* [43], adaptada al contexto local. Las ramas incluyen: alimentos, bebidas y tabaco; textiles, prendas de vestir y cueros; madera, papel e impresiones; productos químicos, caucho y plásticos; minerales no metálicos, metales comunes y productos metálicos; fabricación de vehículos y equipos de transporte; fabricación de equipos y maquinaria; fabricación de muebles; y otras industrias. La participación energética de cada una de estas ramas se detalla en la Figura 5, lo que permite visualizar su contribución específica dentro de este sector.

En este enfoque analítico, el nivel de actividad (AL) se representa mediante el valor agregado de cada sector en dólares estadounidenses (USD), mientras que la intensidad

energética (IE) se cuantifica en términos de barriles equivalentes de petróleo por dólar (BEP/USD). Además, el equipamiento (j) se clasifica en cinco categorías de uso: vapor, calor, fuerza motriz, otros procesos productivos y procesos no productivos, según lo estipulado por OLADE en 2017 [12].

Los principales tipos de energía utilizados en este sector son la electricidad (EE), el gas licuado de petróleo (GLP), el gas natural (GN), el diésel (DI) y el fuel oíl (FO), los cuales son esenciales para el funcionamiento eficiente de las diversas actividades industriales [2]. La Figura 4 presenta un desglose permite un análisis detallado del consumo energético por rama, facilitando la identificación de oportunidades para mejorar la eficiencia energética y reducir la dependencia de fuentes fósiles.

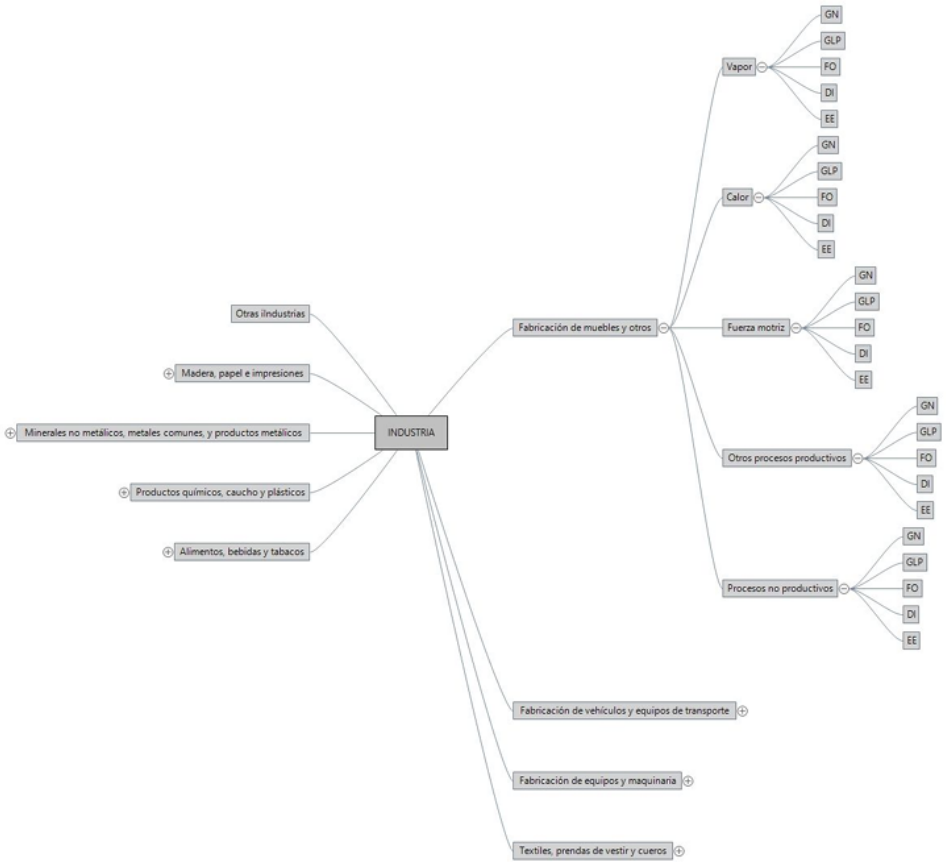


Figura 4. Estructura de demanda del sector Industrial.
Fuente: Barragán, 2018 [2].

El análisis del sector industrial se fundamenta en indicadores clave que relacionan la producción económica y el consumo energético. El valor agregado permite estimar la

intensidad energética y analizar la eficiencia del sector, mientras que el uso de energía eléctrica ayuda a identificar patrones de consumo. Además, el VASIC (Valor Agregado Sectorizado de la Industria Cantonal) [66] desagrega el consumo por subsectores, facilitando la planificación y la optimización del uso energético [2]. Esta información detallada se puede consultar en la Tabla 7.

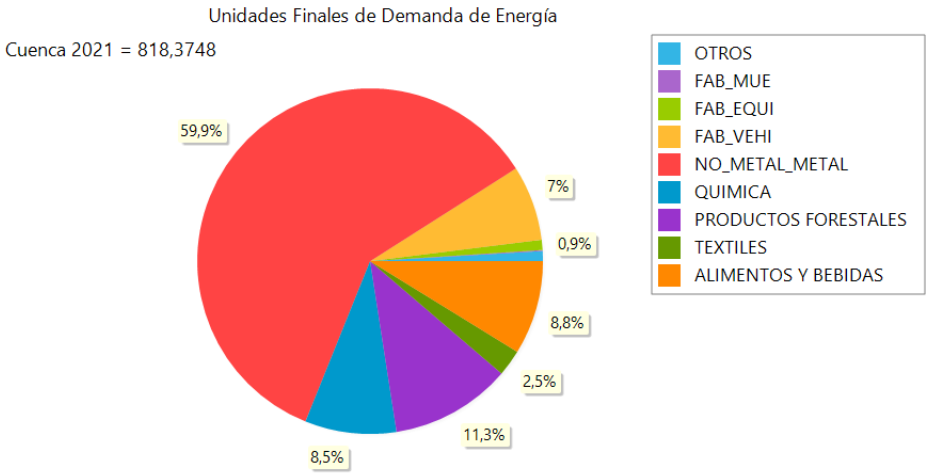


Figura 5. Participación energética de la industria.
Fuente: Elaboración Propia.

La siguiente tabla resume los datos relevantes utilizados en este análisis:

Tabla 7. Valor agregado y energía eléctrica en la industria en el cantón Cuenca.

CLASIFICACION	Nacional	CSIN	CSIN/VASIN	VASI
	MILES USD	GWH	GWH/USD	MILES USD
Alimentos, bebidas y tabaco	2923951,00	1057,62	0,00	283384,85
Textiles, prendas de vestir y cueros	640779,17	461,93	0,00	62103,34
Madera, papel e impresiones	957847,52	661,33	0,00	92833,11
Productos químicos, caucho y plásticos	2134184,63	967,07	0,00	206841,90
Minerales no metálicos, metales comunes y productos metálicos	1041953,13	4868,56	0,00	100984,50
Fabricación de vehículos y equipos de transporte	172169,79	33,23	0,00	16686,43
Fabricación de equipos y maquinaria	313135,32	224,32	0,00	30348,59

Fabricación de muebles y otros	411430,03	41,54	0,00	39875,17
Total	8595450,59			833057,90

Fuente: Elaboración Propia.

El consumo de combustibles fue obtenido a partir de las bases de datos proporcionadas por la ARCH-Azuay (2021) [37]. En la Tabla 8 se presentan los tipos de energéticos consumidos por el sector industrial durante el año base, proporcionando una visión detallada de la matriz energética utilizada en dicho periodo.

Tabla 8. Energéticos consumidos por la industria en el cantón Cuenca.

Energéticos consumidos por la industria en el cantón Cuenca							
CLASIFICACIÓN	**EE kBEP**	**DIESEL kBEP**	**Fuel Oil kBEP**	**GLP kBEP**	**GLN kBEP**	**TOTAL**	**Participación**
Alimentos, Bebidas y Tabaco	18,46	49,54	3,64	0,26	0,00	71,90	9%
Textiles, Prendas de Vestir y Cueros	8,06	3,91	7,77	0,50	0,00	20,24	3%
Madera, Papel e Impresiones	11,54	0,00	80,85	0,06	0,00	92,46	11%
Productos Químicos, Caucho y Plásticos	16,88	10,43	40,34	0,13	2,17	69,95	9%
Minerales no metálicos, metales comunes, y productos metálicos	84,97	139,77	33,07	17,21	215,02	490,04	61%
Fabricación de vehículos y equipos de transporte	0,58	54,24	0,00	0,00	0,00	54,82	7%
Fabricación de equipos y maquinaria	3,92	3,39	0,00	0,50	0,00	7,81	1%
Fabricación de muebles y otros	0,73	0,00	0,00	0,02	0,00	0,74	0%
TOTAL	145,13	261,28	165,67	18,68	217,20	807,96	100%

Fuente: Elaboración Propia.

4.3 Energía en el sector transporte.

Con base en los datos proporcionados por la ARCH-Azuay (2021) [37] y la base de datos de la EMOV EP [39] correspondientes a los años 2020 y 2021, se empleó una metodología bottom-up para estructurar el sector automovilístico de la ciudad de Cuenca. Dicha metodología, representada en la Figura 6, permitió estimar que en la ciudad circulan aproximadamente 91,576 vehículos, de los cuales el 87,92 % utiliza gasolina y el 12,08 % diésel, según los datos proporcionados por la EMOV EP (2021) [39].

Para modelar la demanda tal como se establece en la Ecuación 3.4.1, el nivel de actividad (AL) se define como el número total de vehículos en el parque automotor, mientras que la intensidad energética (IE) se mide en BEP por vehículo. El equipamiento j se clasifica en cinco subsectores: automóviles, taxis, camionetas y furgones, buses, y motocicletas, además de un subsector adicional para vehículos de carga pesada. Los principales energéticos k empleados en este sector son la gasolina (GA) y el diésel (DI) [2].

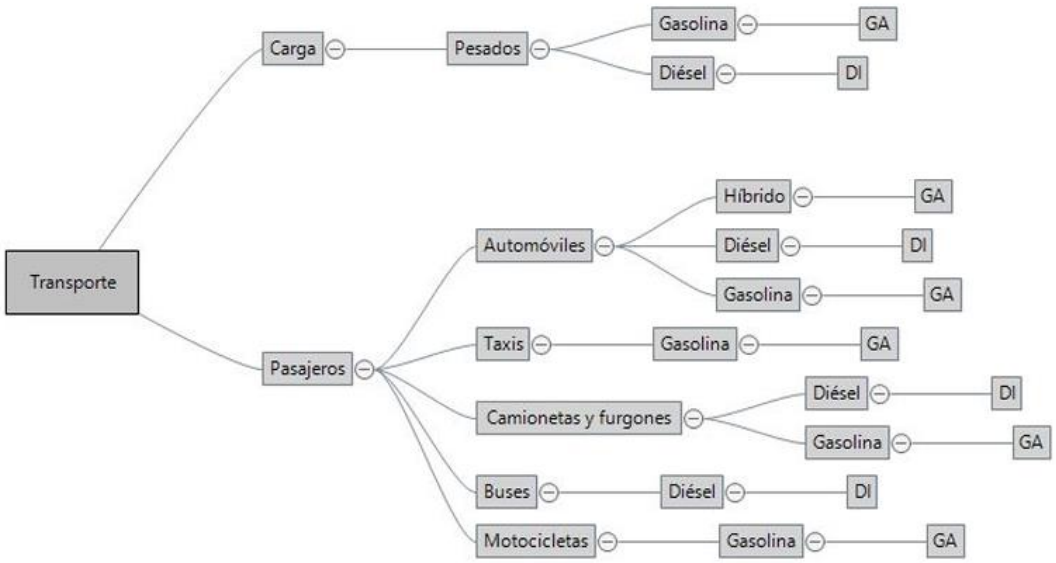


Figura 6. Estructura de demanda del sector Transporte.
Fuente: Barragán, 2018 [2].

Durante el año base, el sector transporte del cantón Cuenca requirió un total de 1,868.3934 kBEP de energía [37]. De este consumo, el 61,4 % correspondió a vehículos que operan con gasolina, el 38,5 % a vehículos diésel, y apenas el 0,14 % a vehículos eléctricos, reflejando la limitada adopción de tecnologías más limpias en este sector.

En cuanto al tipo de uso, tal como se muestra en la Figura 7, el 80,7 % de la energía fue consumida por vehículos de pasajeros, mientras que el 19,3 % se destinó a vehículos de carga. Por otro lado, la Figura 8 ilustra la participación en el consumo de combustibles, donde el 61,4 % corresponde a gasolina y el 38,5 % a diésel. Estos datos

destacan que la mayor parte de la demanda energética proviene del transporte de personas, lo que evidencia la necesidad de implementar medidas de eficiencia energética que promuevan el ahorro de combustibles y la transición hacia tecnologías más limpias.

Dentro del sector transporte del cantón Cuenca, el tranvía constituye una alternativa moderna y sostenible dentro del subsector de transporte público. Los datos utilizados para estructurar el modelo en LEAP, presentados en la Tabla 9, fueron fundamentales para el análisis. Durante el año base, este sistema registró un consumo energético total de 2,92 kBEP, con una intensidad energética de 2092,35 BEP por unidad. Operando exclusivamente con electricidad, el tranvía contribuye significativamente a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con otros medios de transporte, como buses o taxis que dependen de combustibles fósiles.

Figura 7. Participación Energética Trasporte.
Fuente: Elaboración Propia.

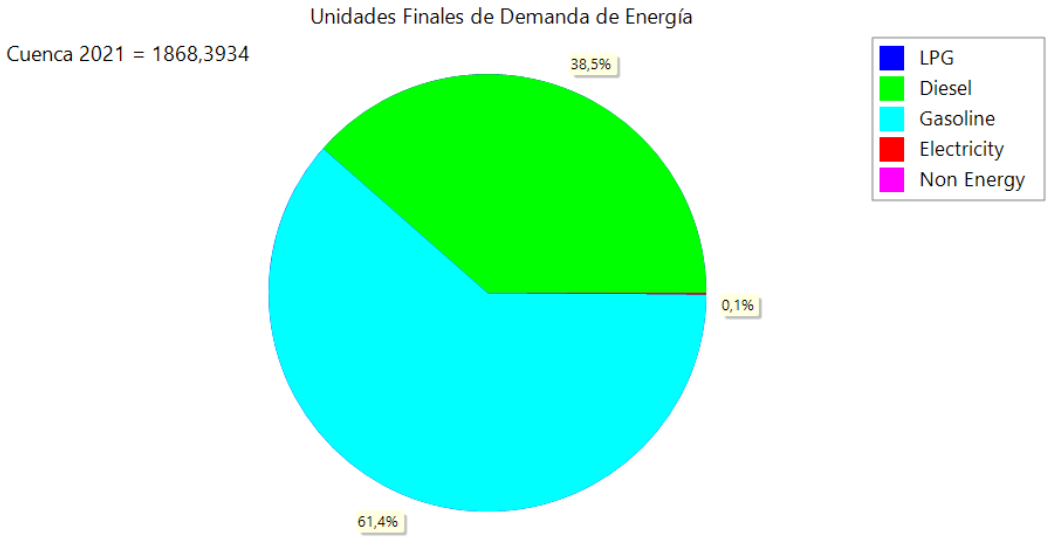


Figura 8. Participación Energética Trasporte (Combustibles).
Fuente: Elaboración Propia.

Para calcular la intensidad energética en el sector transporte, se empleó el método VKR (Vehículo, Kilómetro, Recorrido). Este enfoque permite estimar el consumo de energía considerando tres parámetros clave: el número total de vehículos, el recorrido promedio anual por vehículo (km/año) y el consumo energético específico de los vehículos (BEP/km).

Los datos necesarios para este análisis se obtuvieron de la base de datos oficial proporcionada por EMOV EP [39], que incluye información detallada sobre el parque automotor en el cantón Cuenca. Además, se realizaron una serie de cálculos para estimar el consumo energético total y desagregarlo según el tipo de vehículo y las categorías energéticas correspondientes.

Este método permitió generar resultados precisos que reflejan las características del consumo de energía en el sector transporte, sirviendo como una base sólida para evaluar posibles medidas de eficiencia energética y estrategias de sostenibilidad [2].

Tabla 9: Intensidades energéticas del transporte.

Gasolina							
Categoría	**Total vehículos [AL]**	**Promedio Cilindraje**	**km recorridos**	**Consumo específico [Litros/km]**	**Consumo especifico [BEP/1000km]**	**Consumo específico [kBEP]**	**IE [BEP/veh]**
Autos pesados de carga	53	4671,96	5800,86	25,23	1,44	0,44	8,35
Automóviles Normales	55883	4645,07	7878,00	31,54	1,80	792,34	14,18
Automóviles Híbridos	948	2383,78	7156,93	16,46	0,94	6,37	6,57
Taxis	3284	1542,30	32526,04	23,66	1,35	144,18	43,90
Camionetas y furgonetas	12671	2418,19	7793,66	29,12	1,66	164,06	12,95
Buses y microbuses	0	0,00		0,00	0,00		104,77
Motos	7678	226,71	2626,77	6,31	0,36	7,26	3,67
Tranvía	1	-	-	-	-	2,924	2092,35
Diesel							
Autos pesados de carga	4349	6498,32	15817,05	37,85	2,46	168,93	82,74
Automóviles Normales	539	2364,70	8395,48	18,93	1,23	5,56	10,31
Automóviles Híbridos	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,57
Taxis	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	53,53
Camionetas y furgonetas	4970	2782,09	13916,57	32,91	2,14	147,70	29,72
Buses y microbuses	1200	7229,99	26035,82	37,85	2,46	76,73	168,48

Fuente: Elaboración Propia.

4.4 Energía en el sector comercial.

En el sector comercial, se evaluó el consumo total de energía necesario para satisfacer sus actividades, considerando las principales fuentes utilizadas: electricidad (EE) y gas licuado de petróleo (GLP) tal como se presenta en la Figura 9. Para este análisis, el nivel de actividad (AL) se definió como el valor agregado comercial expresado en USD, mientras que la intensidad energética (IE) se midió en BEP/USD. Este enfoque permitió establecer una conexión directa entre la actividad económica del sector comercial y su consumo energético, proporcionando una perspectiva clara de la demanda energética [2].

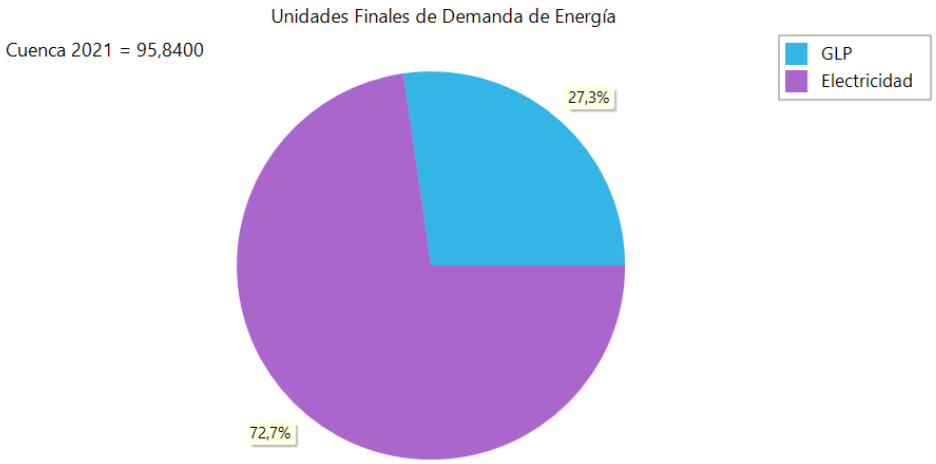


Figura 9. Participación Energética Sector Comercial.
Fuente: Elaboración Propia.

En el año 2021, el consumo energético del sector comercial alcanzó un total de 95.84 kBEP [38], [37]. De este total, el 72,73 % correspondió al uso de electricidad, mientras que el 27,27 % restante se destinó al consumo de gas licuado de petróleo (GLP), tal como podemos evidenciar en la Figura 9. Esta distribución refleja la predominancia de la electricidad como fuente de energía principal en el sector, aunque el GLP continúa desempeñando un papel significativo en determinadas actividades comerciales.

Para estructurar el modelo LEAP, es necesario contar con los datos de la Tabla 10, los cuales se obtienen del valor agregado en dólares [67], la energía eléctrica [38] y GLP [37] destinados para el sector comercial.

Tabla 10: Valor agregado y energía en el sector comercial en el cantón Cuenca.

VA Miles USD	EE (kBEP)	GLP (kBEP)
499822,2	69,7	26,14

Fuente: Elaboración Propia.

4.5 Energía en el sector alumbrado público.

El sector de alumbrado público, como es bien conocido, utiliza exclusivamente electricidad para su funcionamiento. Según los datos proporcionados por Centro sur [38], el consumo energético de este sector durante el año 2021 fue de 40,40 kBEP. Para su análisis, el nivel de actividad (AL) se define como el valor agregado del cantón Cuenca en dólares estadounidenses (USD), mientras que la intensidad energética (IE) se calcula en BEP por USD. Esta metodología permite evaluar el consumo energético en relación con la actividad económica local, facilitando la identificación de oportunidades para mejorar la eficiencia en el uso de la energía.

Además en la Tabla 11 tenemos los valores del valor agregado [67] y el consumo energético total de energía en el alumbrado público [38].

Tabla 11: Valor agregado y energía en el sector alumbrado público del cantón Cuenca.

VA Miles USD	EE (kBEP)
4272000	40,4

Fuente: Elaboración Propia.

4.6 Balance de energía.

En 2021, el cantón Cuenca registró un consumo energético total de 3.567,86 kBEP, según datos oficiales proporcionados por Centro sur [38] y la ARCH [37]. El flujo energético de ese año, representado en un diagrama de Sankey presentado en la Figura 10, muestra la distribución de los diferentes energéticos utilizados en el cantón. Un aspecto destacado es que el 81 % de la energía consumida provino de recursos fósiles, una cifra que coincide con la distribución observada a nivel nacional, de acuerdo con el Balance Energético Nacional 2021 elaborado por el Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables (2022) [44]. Este predominio de combustibles fósiles refleja la alta dependencia del país, y específicamente de Cuenca, de fuentes como gasolina y diésel para satisfacer sus necesidades energéticas.

El sector transporte se posiciona como el mayor consumidor de energía en el cantón, representando el 53,24 % del total. Durante 2021, el tranvía consumió un total de 2,92

kBEP. Con una intensidad energética de 2092,35 BEP por unidad, el tranvía se posiciona como una de las alternativas más sostenibles dentro del transporte público del cantón. Aunque su impacto en el consumo energético total del sector es limitado, su operación refuerza el potencial de los sistemas eléctricos para diversificar la matriz energética local. Le siguen el sector industrial, con un 23,32 %, y el residencial, que alcanza un 18,86 %. Esta distribución evidencia la importancia de los combustibles líquidos en la matriz energética local. La gasolina se encuentra a la cabeza de las fuentes más demandadas, con una participación del 31,67 %, mientras que el diésel aporta un 28,30 %. Esto se explica principalmente por el uso intensivo de estos energéticos en el transporte público, privado y de carga.

En cuanto al sector residencial, el gas licuado de petróleo (GLP) domina como principal fuente de energía, con una participación del 75,14 %. Este dato resalta el peso del GLP en actividades domésticas como la cocción de alimentos, calentamiento de agua y otras necesidades energéticas del hogar, consolidándolo como el mayor consumidor de este recurso en el cantón.

Estas cifras subrayan la necesidad de diversificar las fuentes de energía y promover alternativas más sostenibles, especialmente en sectores clave como el transporte y el residencial, donde los recursos fósiles aún tienen una predominancia significativa.

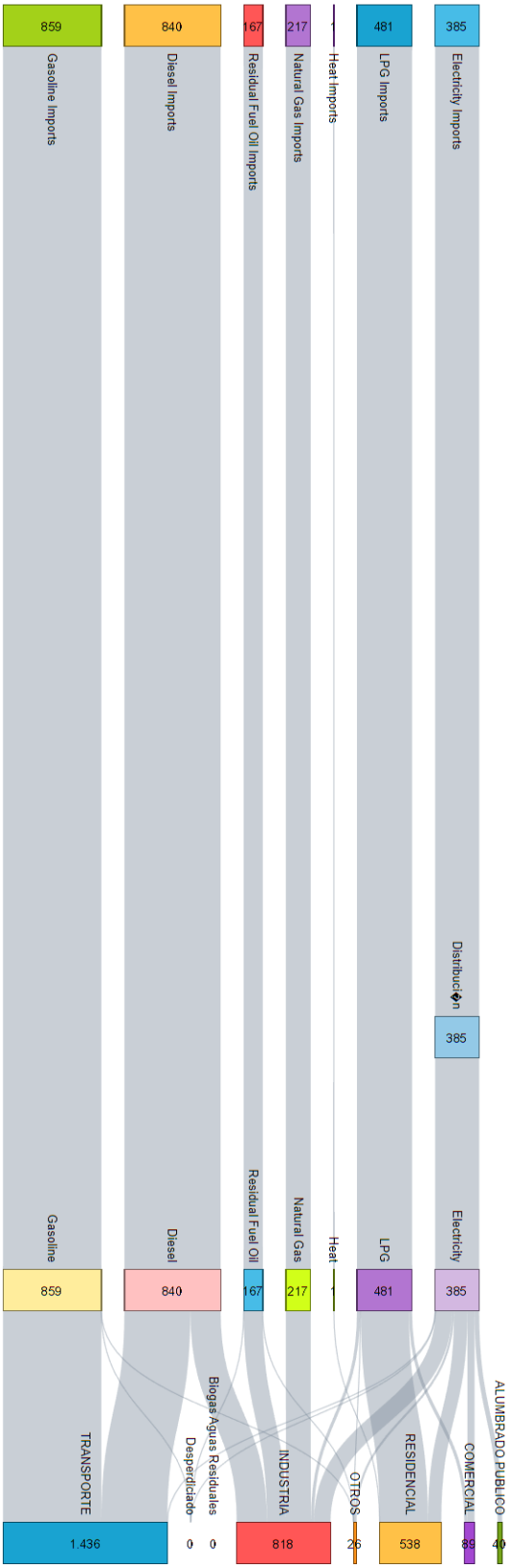


Figura 10. Diagrama de Sankey del cantón Cuenca 2021.
Fuente: Elaboración Propia.

El balance energético del cantón Cuenca refleja que, debido a la ausencia de instalaciones locales para la generación de energía, la totalidad de los recursos energéticos provienen de fuentes externas. Esta dependencia del suministro externo resalta la necesidad de fortalecer la infraestructura energética local y explorar opciones para diversificar la matriz, reduciendo la vulnerabilidad ante fluctuaciones en el abastecimiento o costos de importación.

Tabla 12: Balance de energía del cantón cuenca 2021.

Balance de energía (kBEP)								
	Electricidad	**Natural Gas**	**Gasolina**	**Diesel**	**Residual Fuel Oíl**	**LPG**	**Heat**	**Total**
Producción	-	-	-	-	-	-	-	-
Importaciones desde fuera del área	385	217	859	840	167	481	1	2.949
Exportaciones fuera del área	-	-	-	-	-	-	-	-
Suministro primario total	385	217	859	840	167	481	1	2.949
Distribución	-	-	-	-	-	-	-	-
Transformación Total	-	-	-	-	-	-	-	-
RESIDENCIAL	116	-	-	-	-	421	1	538
INDUSTRIA	145	217	-	264	166	26	-	818
TRANSPORTE	2	-	859	576	-	-	-	1.436
COMERCIAL	62	-	-	-	-	27	-	89
ALUMBRADO PUBLICO	40	-	-	-	-	-	-	40
OTROS	18	-	0	-	1	7	-	26
Demanda total	385	217	859	840	167	481	1	2.949

Fuente: Elaboración Propia.

4.7 Ajuste y validación de datos.

Para el ajuste, se considera un margen de ±5 %, ya que, si los valores obtenidos se encuentran dentro de este rango, se asume que la información es de calidad, tal como se indica en [12]. Este proceso de validación de datos se lleva a cabo comparando los registros proporcionados por las bases de datos de Centro sur [38] y la ARCH [37] con los resultados obtenidos a través del modelamiento en la plataforma LEAP. Este enfoque permite garantizar la coherencia y precisión de los datos utilizados en el análisis energético.

Tabla 13: Ajuste entre las bases de datos y el modelo LEAP.

CONSOLIDADO ENERGÍA CUENCA URBANO (kBEP) - CUENCA CANTON			
Tipo	**Base de datos**	**Resultados Leap**	**Ajuste**
DIESEL	1021,77	993,27	2,8%
FUEL OIL	167,28	166,62	0,4%
GASOLINAS	1154,59	1146,56	0,7%
GLP	556,99	553,75	0,6%
GNL	217,20	217,2	0,0%
ELECTRICIDAD	450,04	430,14	4,4%
TOTAL	3567,87	3507,55	1,7%

Fuente: Elaboración Propia.

CAPÍTULO V

Análisis Comparativo y Discusión de Resultados.

Para realizar la comparación de resultados, se contrastaron los datos obtenidos para el año 2015 en la tesis de Barragán (2018) [2] con los generados mediante el modelamiento correspondiente al año 2021. Este análisis permitió evaluar los cambios en la matriz energética urbana de Cuenca en cuanto a la distribución de energéticos, la participación sectorial en el consumo y la evolución de la dependencia de recursos fósiles [70].
Asimismo, se analizaron los sectores residencial, industrial, comercial y de transporte para identificar variaciones en su consumo. Además, se examinaron tendencias en la transición hacia fuentes más sostenibles, mejoras en eficiencia energética y el impacto de la dependencia de energía importada, aportando información clave para la planificación energética local.

5.1 Comparación sector residencial.

La comparación entre los consumos energéticos del sector residencial en la zona urbana de Cuenca para los años 2015 y 2021 permite analizar los cambios en la estructura de la demanda y el uso de diferentes fuentes de energía. Este análisis se enfoca en rubros clave como cocción, agua caliente sanitaria (ACS), iluminación, refrigeración y otros usos, desglosando el consumo de electricidad, gas licuado de petróleo (GLP) y, en el caso de 2021, calor.

El sector residencial, al ser un componente significativo del consumo energético urbano, refleja tanto las tendencias tecnológicas como los cambios en hábitos de consumo.

Tabla 14: Datos sector residencial Cuenca urbano 2015-2021.

	Cuenca Urbano 2015				Cuenca Urbano 2021			
	Electricidad 2015 (kBEP)	GLP 2015 (kBEP)	Calor 2015 (kBEP)	Total 2015 (kBEP)	Electricidad 2021 (kBEP)	GLP 2021 (kBEP)	Calor 2021 (kBEP)	Total 2021 (kBEP)
Cocción	2,82	162,03	-	164,85	3,88	250,89	-	254,77
ACS	9,91	108,36	-	118,28	11,44	169,75	1,32	182,52
Iluminación	12,71	-	-	12,71	13,96	-	-	13,96
Refrigeradoras	47,69	-	-	47,69	52,69	-	-	52,69
Otros usos	29,21	-	-	29,21	34,48	-	-	34,48
Total	102,35	270,39	-	372,74	116,46	420,64	1,32	538,42

Fuente: Elaboración Propia.

La comparación de los consumos energéticos del sector residencial de Cuenca urbana entre 2015 y 2021 refleja cambios significativos en la demanda y la estructura del uso energético como se puede observar en la Figura 11.

5.1.1 Incremento del consumo total

El consumo energético total del sector residencial aumentó en un 44,4 %, pasando de 372,7421 kBEP en 2015 a 538,4197 kBEP en 2021. Este incremento se da a pesar de la reducción de la población total urbana, que pasó de 391,657 habitantes en 2015 a 361,524 en 2021. La principal explicación de este fenómeno es el crecimiento del número de hogares, que aumentó de 107,598 a 115,477 durante este periodo, impulsado por una disminución en el promedio de habitantes por hogar de 3,76 a 3,2.

Se observa una reducción en el número de habitantes debido a que los datos correspondientes al año 2015 presentados en Barragán (2018) [2] provienen de una proyección y no de fuentes oficiales, como las estadísticas del INEC. Esto se debe a que los censos poblacionales en Ecuador se realizan cada 10 años, lo que limita la disponibilidad de datos oficiales actualizados para años intermedio

5.1.2 Aumento en el consumo energético total:

El consumo energético residencial creció de 372,74 a 538,42 kBEP, lo que sugiere un aumento en la demanda de servicios energéticos, pese a la reducción poblacional. Esto puede atribuirse al aumento del PIB per cápita (de $4,5 a $6,3), indicando una mayor capacidad adquisitiva y acceso a electrodomésticos.

5.1.3 Cocción y ACS (Agua Caliente Sanitaria):

El consumo energético en la categoría de cocción mostró un incremento significativo en el uso de GLP y electricidad tal como se observa en la Figura 11. En cuanto al GLP, el consumo pasó de 162,03 kBEP en 2015 a 250,89 kBEP en 2021, lo que representa un aumento absoluto de 88,86 kBEP, equivalente a un crecimiento porcentual del 54,84%. Por su parte, el uso de electricidad en cocción aumentó de 2,82 kBEP en 2015 a 3,88 kBEP en 2021, con un incremento absoluto de 1,06 kBEP, equivalente a un 37,59%. Esto evidencia que, aunque la electricidad presenta un crecimiento menor en términos absolutos, sigue siendo un complemento importante en esta actividad.

Por otro lado, en la categoría de Agua Caliente Sanitaria (ACS), el consumo de GLP también experimentó un aumento considerable, pasando de 108,36 kBEP en 2015 a 169,75 kBEP en 2021. Esto significa un incremento absoluto de 61,39 kBEP, lo que corresponde a un crecimiento porcentual del 56,65%. En el caso de la electricidad para ACS, el consumo subió de 9,91 kBEP en 2015 a 11,44 kBEP en 2021, lo que representa un aumento absoluto de 1,53 kBEP y un crecimiento porcentual del 15,43%. Cabe destacar que en 2021 se introdujo el uso de calor como fuente de energía para ACS, con un consumo registrado de 1,32 kBEP, lo que representa una nueva incorporación en la matriz energética para esta actividad.

5.1.4 Iluminación y refrigeración:

El consumo de electricidad destinado a la iluminación residencial experimentó un incremento moderado durante el período analizado, como podemos verificarlo en la Figura 11. En 2015, el consumo fue de 12,71 kBEP, mientras que, en 2021, este valor aumentó a 13,96 kBEP. Esto representa un incremento absoluto de 1,25 kBEP y un crecimiento porcentual del 9,83%. Este aumento se atribuye principalmente a la mayor electrificación y al incremento en el número de hogares, que pasó de 107,168 en 2015 a 165,922 en 2021, según datos del INEC [42].

El consumo energético relacionado con la refrigeración también mostró un aumento significativo. En 2015, el consumo fue de 47,69 kBEP, mientras que, en 2021, ascendió a 52,69 kBEP. Este cambio equivale a un incremento absoluto de 5 kBEP y un crecimiento porcentual del 10,48%. El incremento se debe al aumento en la cantidad de hogares y al acceso a electrodomésticos.

.

5.1.5 Otros usos:

En el período analizado, el consumo de energía en la categoría de "otros usos" del sector residencial mostró un incremento significativo, pasando de 29,21 kBEP en 2015 a 34,48 kBEP en 2021 como podemos verificar en la Figura 11, lo que representa un aumento absoluto de 5,27 kBEP y un crecimiento porcentual del 18%. Esta categoría incluye actividades como la limpieza del hogar (lavadoras, aspiradoras), cuidado personal (planchas, secadores), entretenimiento (televisores, computadoras) y el uso de pequeños electrodomésticos como microondas y cafeteras. El aumento observado refleja la creciente electrificación de los hogares y una mayor presencia de electrodoméstico [44].

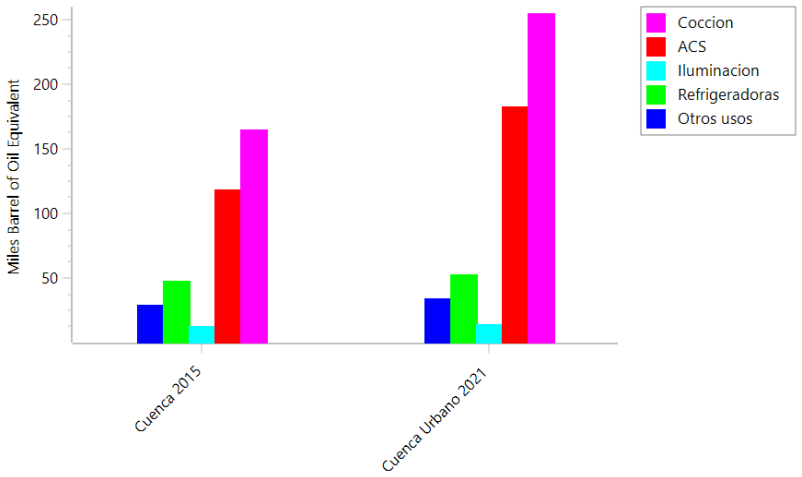


Figura 11. Participación energética sector residencial Cuenca urbano 2015 - 2021.
Fuente: Elaboración Propia.

5.2 Comparación sector Industrial.

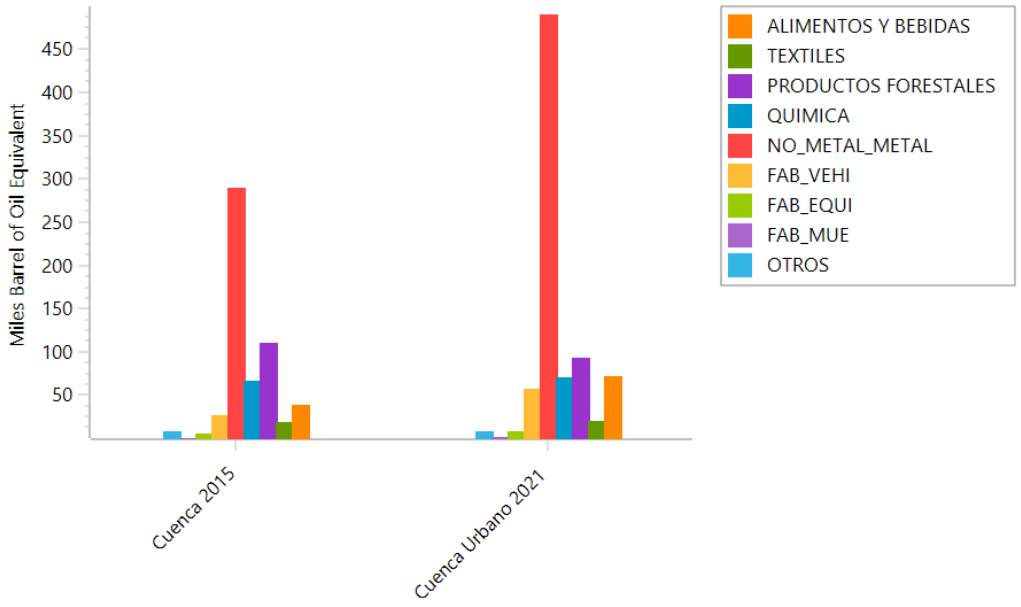


Figura 12. Participación energética sector industrial Cuenca urbano 2015 - 2021.
Fuente: Elaboración Propia.

El análisis comparativo del sector industrial en Cuenca, correspondiente a los años 2015 y 2021, permite evidenciar cambios significativos en el consumo de energía y la producción económica. Esta evaluación proporciona información sobre la relación entre la demanda de diferentes tipos de energéticos (electricidad, gas natural, diésel, entre otros) y el desempeño económico medido a través del Valor Agregado de Manufactura (VAD).

Los datos presentados en la Figura 12 muestran visualmente la evolución de los subsectores industriales, mostrando incrementos o disminuciones en la intensidad de uso de recursos energéticos y su capacidad productiva. Este enfoque facilita la identificación de tendencias, oportunidades de mejora en eficiencia y el impacto del crecimiento económico en los patrones de consumo energético.

Tabla 15: Datos sector industrial Cuenca urbano 2015-2021.

	Cuenca Urbano 2015						Cuenca Urbano 2021					
	Electricidad 2015 (kBEP)	Gas Natural 2015 (kBEP)	Diésel 2015 (kBEP)	Fuel Oíl 2015 (kBEP)	GLP 2015 (kBEP)	Total 2015 (kBEP)	Electricidad 2021 (kBEP)	Gas Natural 2021 (kBEP)	Diésel 2021 (kBEP)	Fuel oíl 2021 (kBEP)	GLP 2021 (kBEP)	Total 2021 (kBEP)
ALIMENTOS Y BEBIDAS	7,86	-	24,06	4,84	1,25	38,00	18,46	-	49,54	3,64	0,26	71,90
TEXTILES	3,47	-	1,94	10,38	2,42	18,21	8,06	-	3,91	7,77	0,50	20,24
PRODUCTOS FORESTALES	4,90	-	-	104,75	0,31	109,95	11,54	-	-	80,85	0,07	92,46
QUIMICA	7,23	0,92	5,12	52,99	0,63	66,89	16,87	2,17	10,43	40,34	0,13	69,94
NO_METAL_METAL	36,32	58,96	68,20	43,60	83,39	290,46	84,97	215,03	139,77	33,07	17,20	490,04
FAB_VEHI	0,27	-	26,35	-	-	26,62	0,58	-	56,95	-	-	57,53
FAB_EQUI	1,70	-	1,66	-	2,50	5,86	3,92	-	3,39	-	0,50	7,81
FAB_MUE	0,14	-	-	-	0,48	0,63	0,73	-	-	-	0,02	0,74
OTROS	-	-	-	-	7,71	7,71	-	-	-	-	7,71	7,71
Total	61,89	59,88	127,33	216,55	98,68	564,33	145,13	217,20	263,99	165,67	26,38	818,37

Fuente: Elaboración Propia.

La Tabla 15: Datos sector industrial Cuenca urbano 2015-2021 presenta los cambios en el consumo de energía por tipo de fuente durante el periodo 2015-2021, permitiendo analizar su evolución en relación con el Valor Agregado de Manufacturas (VAD) para la ciudad de Cuenca. En ella, se destacan las variaciones en el uso de electricidad, gas natural, diésel, fuel oíl y GLP en diferentes sectores industriales. A partir de los datos presentados, se realiza una comparación detallada para comprender las tendencias y su impacto en el consumo energético total.

5.2.1 Cambios en el consumo de electricidad.

Entre 2015 y 2021, como podemos observar en la Figura 13 el consumo de electricidad experimentó un notable crecimiento, pasando de 61,89 kBEP a 145,13 kBEP. Este aumento fue especialmente significativo en No Metales y Metales, donde el consumo subió de 36,32 kBEP a 84,97 kBEP. Además, sectores como Productos Químicos y Alimentos y Bebidas también vieron incrementos considerables. Estos resultados indican una mayor dependencia de la electricidad en los procesos industriales y un crecimiento en la producción.

Se observó un aumento en el consumo de electricidad en el sector industrial, algo que se evidenció en el Balance Energético Nacional 2021 [44], que cubre datos desde 2011 hasta 2021. Según el informe, el sector industrial experimentó un aumento del 32,7% en su consumo de electricidad entre 2015 y 2021, pasando de 5316 kBEP a 7052 kBEP. Este crecimiento resalta la expansión de la actividad manufacturera, la modernización de los procesos industriales y el uso creciente de tecnologías que requieren mayor energía.

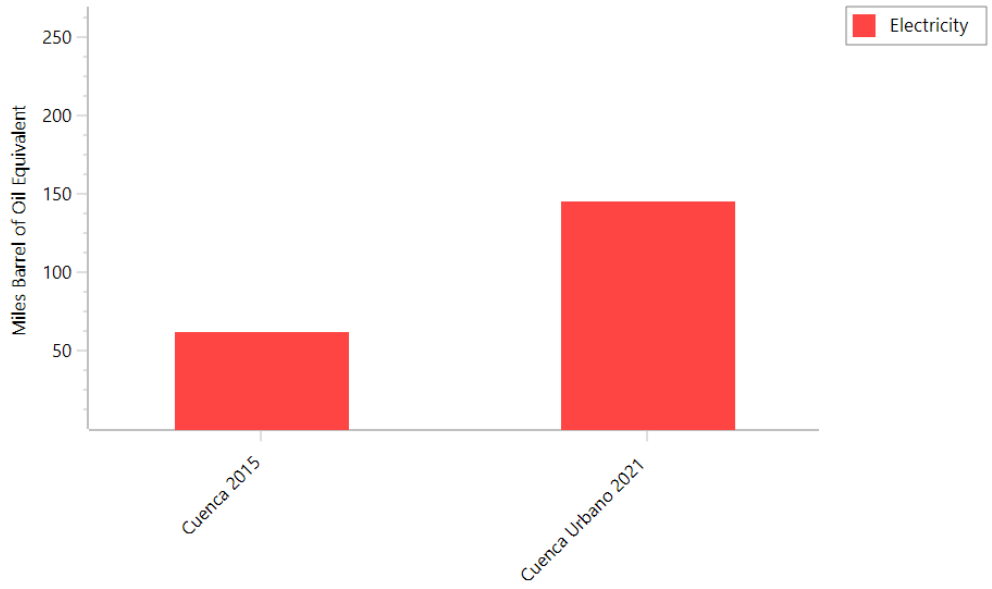


Figura 13. Consumo eléctrico en el sector industrial Cuenca urbano 2015 - 2021.
Fuente: Elaboración Propia.

5.2.2 Cambios en el consumo de gas natural.

Entre 2015 y 2021, el consumo de gas natural experimentó una variabilidad significativa observada en la Figura 14, pasando de 59,88 kBEP en 2015 a 217,20 kBEP en 2021. El mayor incremento se registró en No Metales y Metales, donde el consumo subió de 58,96 kBEP a 215,03 kBEP, lo que indica una notable dependencia del gas natural en este sector. También se observaron aumentos en sectores como productos químicos, que pasó de 0,92 kBEP a 2,17 kBEP, y Fabricación de Equipos, con un incremento de 1,70 kBEP a 3,92 kBEP. Este patrón refleja una tendencia hacia una mayor utilización del gas natural como fuente

energética más eficiente en distintos sectores industriales.

Se observó un aumento en el consumo de gas natural, lo cual se confirma con los datos del Balance Energético Nacional 2021[44]. Entre 2015 y 2021, el consumo de gas natural creció en un 103,6%, pasando de 140 kBEP a 285 kBEP, lo que resalta un notable aumento en la utilización de este recurso.

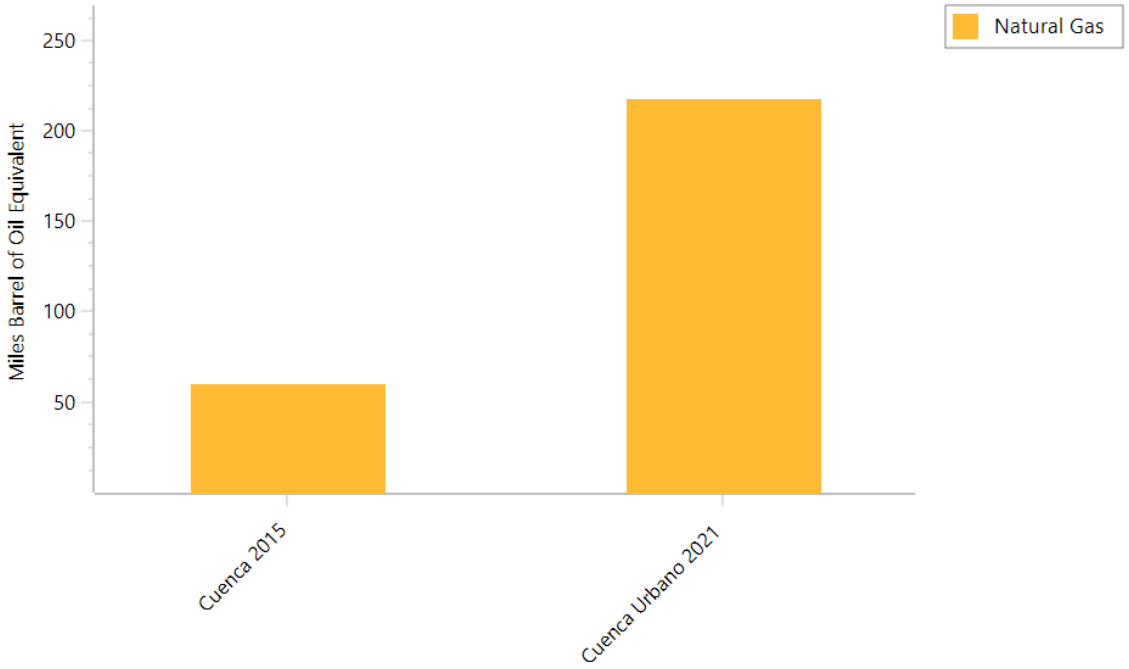


Figura 14. Consumo de gas natural en el sector industrial Cuenca urbano 2015 - 2021.
Fuente: Elaboración Propia.

5.2.3 Cambios en el consumo de diésel.

Como se observa en la Figura 15 el uso de diésel aumentó considerablemente, pasando de 127,33 kBEP en 2015 a 263,99 kBEP en 2021. El sector No Metales y Metales destacó nuevamente, con un incremento de 68,20 kBEP a 139,77 kBEP, lo que sugiere que los procesos industriales que dependen de este combustible se intensificaron en dicha industria. También se observaron aumentos en el sector de Fabricación de Vehículos, que pasó de 26,35 kBEP a 56,95 kBEP, y en Alimentos y Bebidas, de 24,06 kBEP a 49,54 kBEP. Estos incrementos reflejan una creciente necesidad de diésel para maquinaria y transporte en estos sectores, lo que subraya

la importancia de este combustible en la actividad industrial y su rol en la reactivación económica durante el período analizado.

El diésel experimentó un aumento tanto en la oferta como en la demanda en el sector industrial entre los años 2016 y 2021, con un crecimiento del 26,7%. Este aumento en el consumo es evidente en el Balance Energético Nacional 2022 [51], que refleja una intensificación en el uso de este combustible en diversas industrias.

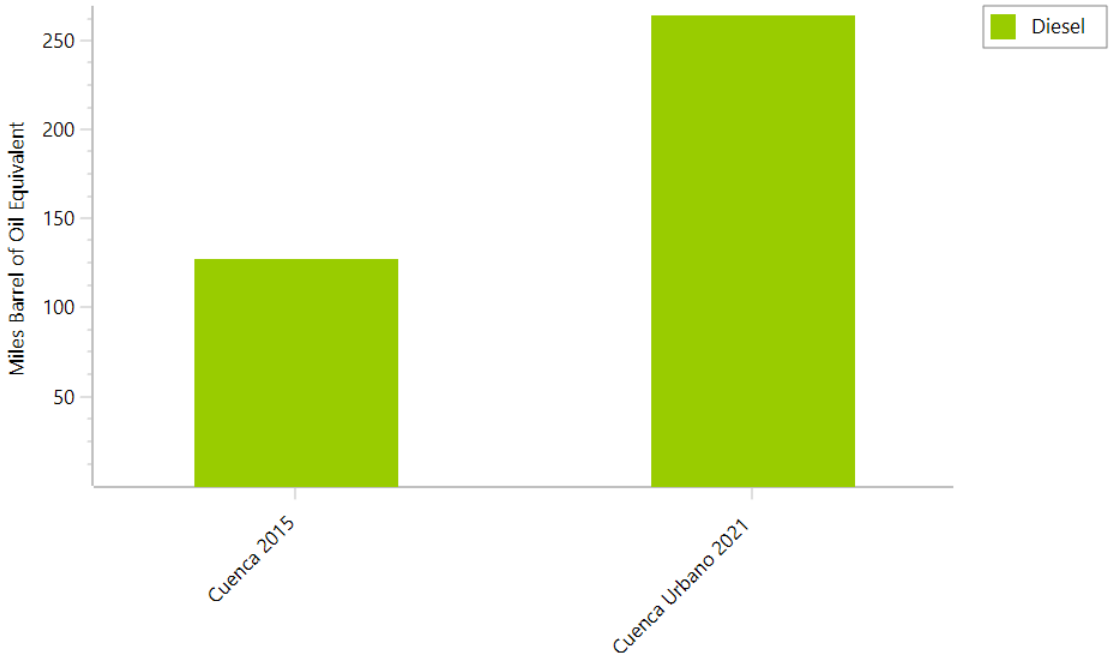


Figura 15. Consumo de diésel en el sector industrial Cuenca urbano 2015 - 2021.
Fuente: Elaboración Propia.

5.2.4 Cambios en el consumo de fuel oíl.

El consumo de fuel oíl registró una disminución, cayendo de 216,55 kBEP a 165,67 kBEP, esto lo podemos evidenciar en la Figura 16. En particular, el sector Productos Forestales redujo su uso de 104,75 kBEP a 80,85 kBEP. No Metales y Metales también disminuyó su consumo, de 43,60 kBEP a 33,07 kBEP. Este patrón de reducción también se vio en Química, que pasó de 52,99 kBEP a 40,34 kBEP.

Según datos del Balance Energético Nacional 2021 [44], entre los años 2015 y 2021, el consumo de fuel oíl a nivel nacional mostró varias fluctuaciones, con una tendencia general hacia la disminución. A lo largo de este período, la reducción

total fue de -5,93% en el consumo de este combustible. Esta tendencia de disminución en el uso de fuel oíl está relacionada con un cambio estructural en la matriz energética, donde sectores industriales están adoptando fuentes de energía más limpias y eficientes.

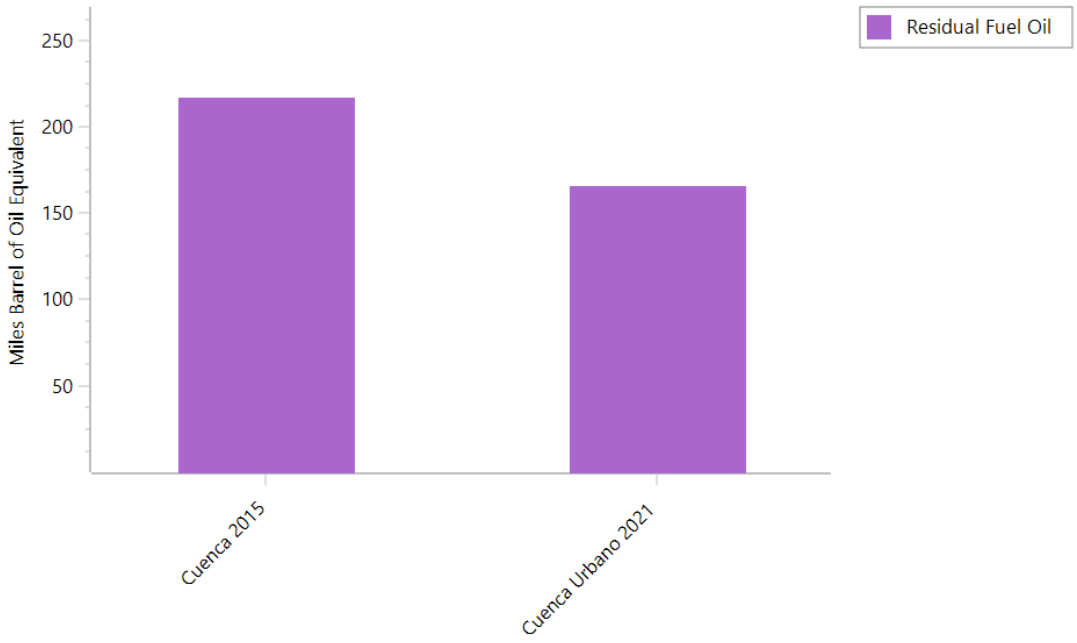


Figura 16. Consumo de fuel oíl en el sector industrial Cuenca urbano 2015 - 2021.
Fuente: Elaboración Propia.

5.2.5 Cambios en el consumo de gas licuado de petróleo (GLP).

El consumo de GLP experimentó una fuerte caída, la cual podemos evidenciar en la Figura 17, descendiendo de 98,68 kBEP a 26,38 kBEP. No Metales y Metales fue el mayor consumidor, pero su demanda bajó de 83,39 kBEP a 17,20 kBEP, lo que sugiere una transición hacia otros combustibles. Asimismo, el sector Alimentos y Bebidas pasó de 1,25 kBEP a 0,26 kBEP, reflejando un cambio en los patrones energéticos de la industria. La disminución general en el uso de GLP resalta una tendencia hacia energías más limpias o la mejora en la eficiencia de los procesos.

Estos cambios se ven evidenciados en el consumo nacional de GLP en el sector industrial, donde el Balance Energético Nacional 2021[44] refleja una disminución

en su demanda. En particular, entre 2015 y 2021, el consumo de GLP en el sector industrial experimentó una caída significativa.

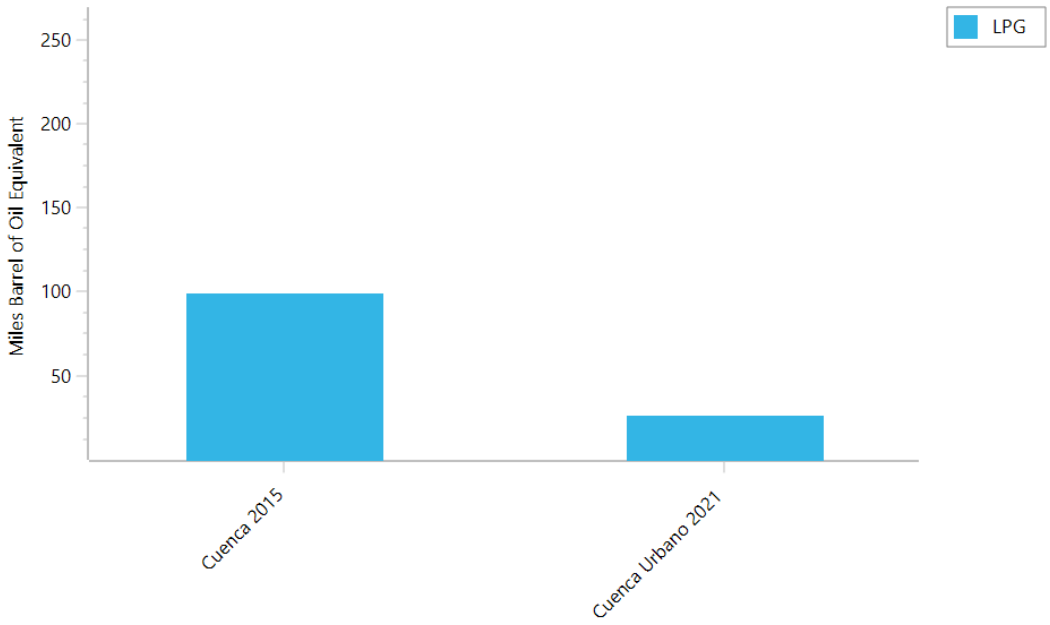


Figura 17. Consumo de gas licuado de petróleo en el sector industrial Cuenca urbano 2015 - 2021.
Fuente: Elaboración Propia.

5.3 Comparación del sector del Transporte.

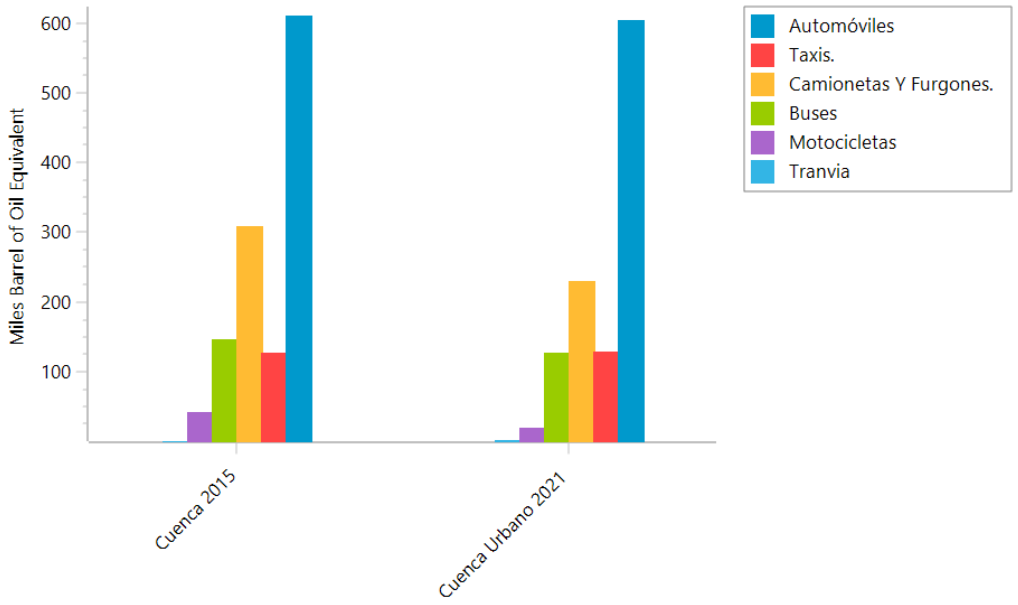


Figura 18. Participación energética sector trasporte (pasajeros) Cuenca urbano 2015 - 2021.
Fuente: Elaboración Propia.

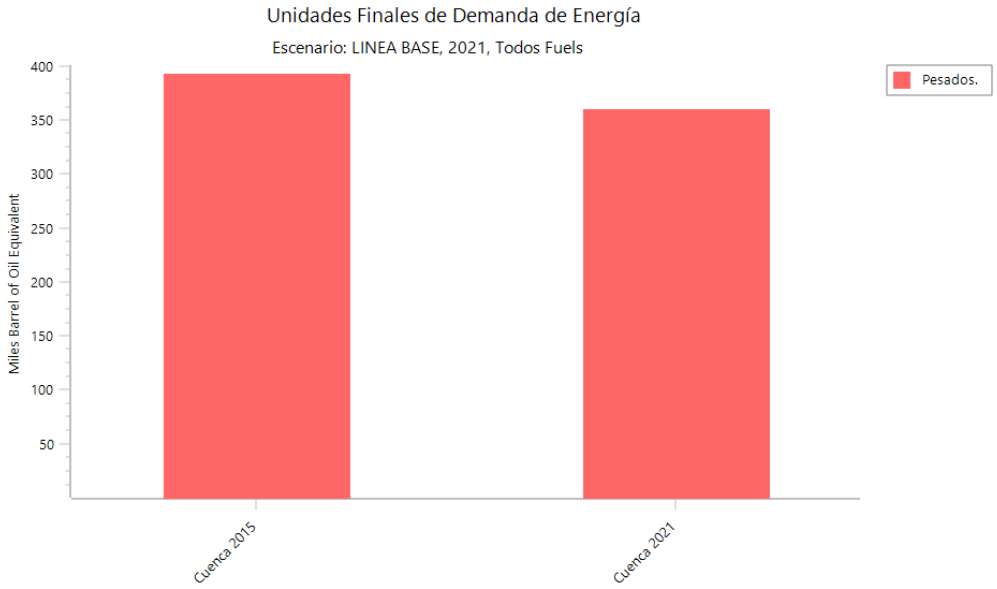


Figura 19. Participación energética sector trasporte (carga) Cuenca urbano 2015 - 2021.
Fuente: Elaboración Propia.

El análisis comparativo del sector del transporte en Cuenca, correspondiente a los años 2015 y 2021, permite evidenciar cambios significativos en el consumo de energía y los patrones de movilidad. Esta evaluación proporciona información sobre la evolución en la demanda de diferentes energéticos (electricidad, gasolina, diésel, entre otros) en los subsectores de transporte de pasajeros y de carga esto podemos evidenciarlo en la Figura 19, además la inclusión del sistema de transporte urbano tranvía el cual genero un aumento en el consumo eléctrico, tal y como podemos observar en la Figura 18.

Tabla 16: Datos sector trasporte Cuenca urbano 2015-2021.

	Cuenca Urbano 2015					Cuenca Urbano 2021				
	Electricidad 2015 (kBEP)	Gasolina 2015 (kBEP)	Diésel 2015 (kBEP)	GLP 2015 (kBEP)	Total 2015 (kBEP)	Electricidad 2021 (kBEP)	Gasolina 2021 (kBEP)	Diésel 2021 (kBEP)	GLP 2021 (kBEP)	Total 2021 (kBEP)
Pasajeros	0,05	982,99	251,51	-	1234,55	2,09	1146,11	359,89	-	1508,09
Carga	-	1,84	391,21	-	393,05	-	0,45	359,85	-	360,30
Total	0,05	984,83	642,73	-	1627,61	2,09	1146,56	719,75	-	1868,39

Fuente: Elaboración Propia.

5.3.1 Cambios en el consumo de electricidad.

El consumo de electricidad en el sector transporte aumentó considerablemente tal y como podemos observar en la Figura 20, pasando de 0,05 kBEP en 2015 a 2,09 kBEP en 2021. Este incremento es atribuible principalmente al transporte de pasajeros, donde el consumo de electricidad pasó de 0,05 kBEP a 2,09 kBEP. Este aumento se atribuye principalmente a la implementación del tranvía en Cuenca, un sistema 100% eléctrico que comenzó a operar en 2021, marcando un hito en la electrificación del transporte urbano. Esta incorporación representa un avance hacia la reducción de emisiones y un compromiso con la sostenibilidad ambiental.

A nivel nacional, según el Balance Energético Nacional 2021 [44], el consumo de electricidad en el sector transporte también mostró una tendencia al alza durante este período, lo que respalda la transición hacia opciones energéticas más limpias.

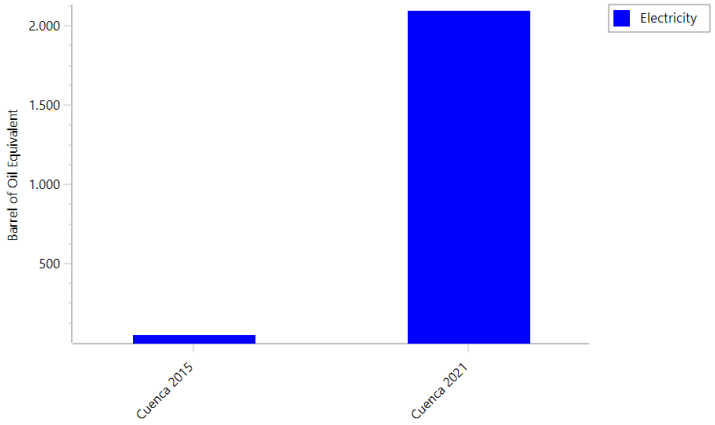


Figura 20. Participación eléctrica en el sector trasporte Cuenca urbano 2015 - 2021.
Fuente: Elaboración Propia.

5.3.2 Cambios en el consumo de gasolina.

El consumo de gasolina mostró un incremento de 984,83 kBEP en 2015 a 1.146,56 kBEP en 2021 esto se puede evidenciar en la Figura 21. Este aumento del 16,4% refleja una mayor actividad en el transporte de pasajeros, que pasó de 982,99 kBEP a 1.146,11 kBEP. Esto se contrasta con la información que existe a nivel nacional, el Balance Energético Nacional 2021 reporta un crecimiento en el consumo de gasolinas del 20% durante el mismo período.

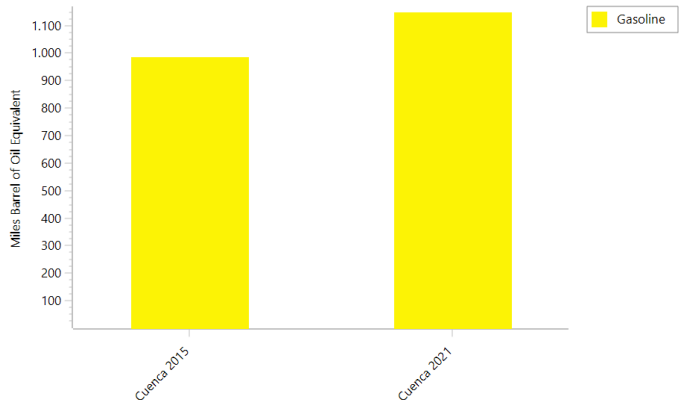


Figura 21. Participación de gasolina en el sector trasporte Cuenca urbano 2015 - 2021.
Fuente: Elaboración Propia.

5.3.3 Cambios en el consumo de diésel.

El uso de diésel aumentó de 642,73 kBEP en 2015 a 719,75 kBEP en 2021 lo cual podemos observar en la Figura 22, impulsado principalmente por el transporte de pasajeros, que creció de 251,51 kBEP a 359,89 kBEP. Este incremento destaca la importancia del diésel en el transporte público, especialmente en autobuses y vehículos de carga pesada. Según el BEN, este aumento en el consumo total de diésel está asociado con el crecimiento económico y poblacional, así como con la expansión de las actividades de transporte. Sin embargo, también subraya los retos relacionados con las emisiones de gases contaminantes y la necesidad de promover alternativas energéticas más sostenibles en el transporte.

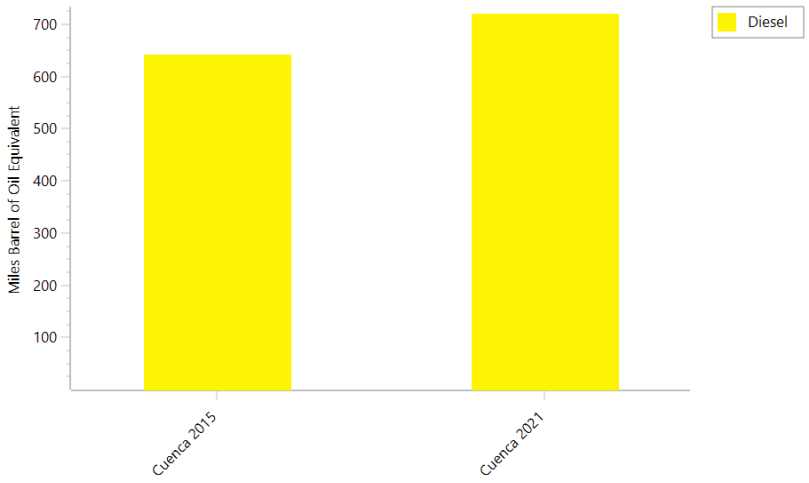


Figura 22. Participación de diésel en el sector trasporte Cuenca urbano 2015 - 2021.
Fuente: Elaboración Propia.

5.3.4 Cambios en el consumo de GLP.

El GLP no registra consumo significativo en el sector transporte durante el periodo analizado. Esto refleja que su uso sigue limitado a otros sectores, como el residencial e industrial, según se detalla en el Balance Energético Nacional.

5.4 Comparación del sector comercial.

El análisis comparativo del sector comercial en Cuenca, correspondiente a los años 2015 y 2021, permite evidenciar cambios como un aumento del 4,6% en el consumo de energía eléctrica y los patrones de uso en las actividades comerciales, en la Figura 23 se observa la participación energética en el sector comercial. Esta evaluación proporciona información sobre la evolución en la demanda de diferentes energéticos, como la electricidad y el gas licuado de petróleo (GLP), destacando la influencia de factores tecnológicos, económicos y sociales en los patrones de consumo. A continuación, se presenta un desglose de las tendencias observadas.

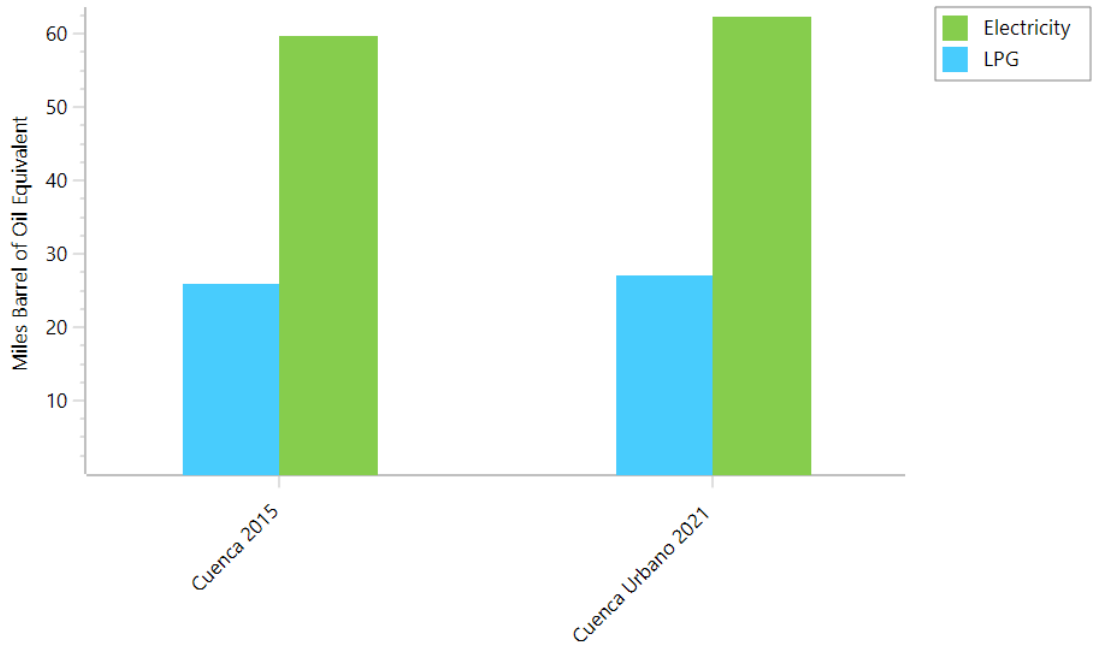


Figura 23. Participación energética en el sector comercial Cuenca urbano 2015 - 2021.
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 17: Datos sector comercial Cuenca urbano 2015-2021.

	Electricidad 2015 (kBEP)	GLP 2015 (kBEP)	Total 2015 (kBEP)	Electricidad 2021 (kBEP)	GLP 2021 (kBEP)	Total 2021 (kBEP)
Comercial	59,6005	25,9095	85,51	62,3097	27,0603	89,37
Total	59,6005	25,9095	85,51	62,3097	27,0603	89,37

Fuente: Elaboración Propia.

5.4.1 Cambios en el consumo de electricidad.

El consumo de electricidad en el sector comercial aumentó de 59,60 kBEP en 2015 a 62,31 kBEP en 2021 esto podemos observar en la Figura 24, lo que representa un crecimiento del 4,6%. Este incremento refleja la adopción de nuevos equipos eléctricos en actividades comerciales, posiblemente vinculada a una mayor dependencia de la electricidad en tareas administrativas, sistemas de climatización y tecnologías de comunicación. Además, la promoción de políticas nacionales que impulsan el uso de electricidad como una fuente de energía más limpia ha contribuido al aumento en su consumo. Sin embargo, este crecimiento también puede estar relacionado con la recuperación gradual de la actividad comercial tras las restricciones impuestas durante la pandemia de COVID-19, que inicialmente habían reducido las operaciones de ciertos establecimientos tal como lo analizan en [52]. también haya reducido temporalmente la demanda de electricidad debido a cierres parciales o totales de actividades comerciales en determinados períodos, afectando los patrones de consumo.

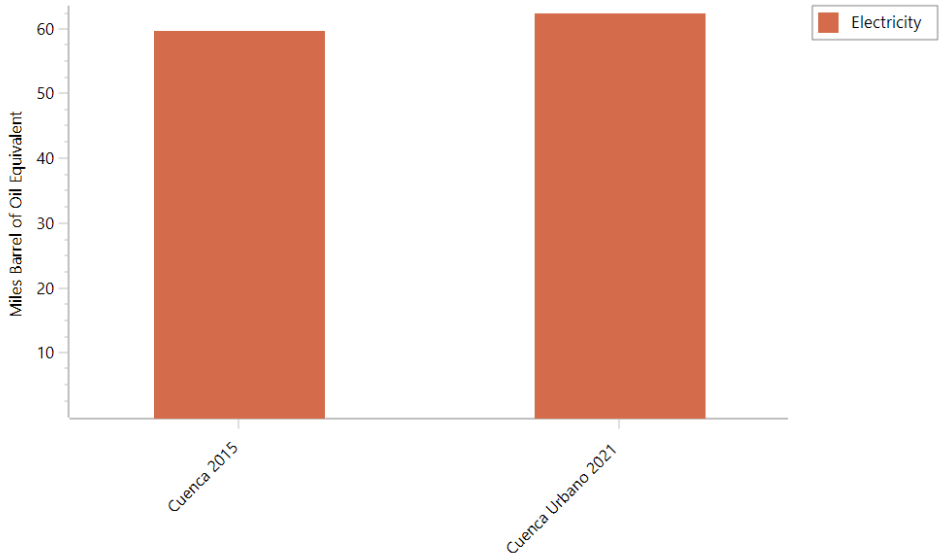


Figura 24. Participación eléctrica en el sector comercial Cuenca urbano 2015 - 2021.
Fuente: Elaboración Propia.

5.4.2 Cambios en el consumo de GLP.

El consumo de gas licuado de petróleo (GLP) también registró un ligero incremento, pasando de 25,91 kBEP en 2015 a 27,06 kBEP en 2021, lo que representa un crecimiento del 4,4%. Este aumento se corrobora en la Figura 25, el cual podría estar relacionado con la recuperación de actividades comerciales dependientes del GLP, como la restauración y la preparación de alimentos, las cuales retomaron su actividad habitual tras las restricciones pandémicas así mismo estas implicaciones se analizaron en analizan en [52]. Asimismo, el uso continuo del GLP en ciertas aplicaciones comerciales, como cocción o calefacción, demuestra que, aunque hay una tendencia hacia la electrificación, este combustible sigue siendo relevante para ciertos sectores específicos.

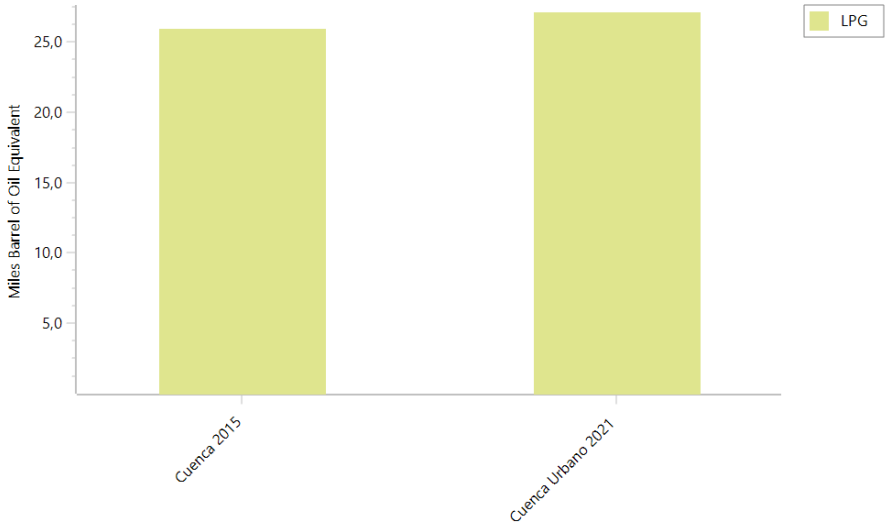


Figura 25. Participación de GLP en el sector comercial Cuenca urbano 2015 - 2021.
Fuente: Elaboración Propia.

5.5 Comparación del sector alumbrado público.

Tabla 18: Datos sector alumbrado público Cuenca urbano 2015-2021.

	Electricidad 2015 (kBEP)	Electricidad 2021 (kBEP)
Alumbrado Público	18,56	40,40
Total	18,56	40,40

Fuente: Elaboración Propia.

Entre 2015 y 2021, evidencia un incremento significativo en el uso de energía eléctrica, como se detalla en la Tabla 18: Datos sector alumbrado público Cuenca urbano 2015-2021. Durante este período, el consumo aumentó de 18,56 kBEP en 2015 a 40,40 kBEP en 2021 tal como se observa en la Figura 26, lo que representa un crecimiento del 117,7%. Este incremento se encuentra estrechamente relacionado con la expansión de la infraestructura urbana de alumbrado público, impulsada por el crecimiento demográfico y el desarrollo de nuevas áreas residenciales, comerciales e industriales. Adicionalmente, la implementación de proyectos para mejorar la cobertura y calidad del alumbrado público, tales como la instalación de luminarias de mayor alcance y nuevas redes de iluminación, contribuyó al aumento en la demanda de energía.

El crecimiento en el consumo energético del sector de alumbrado público no es un fenómeno aislado de Cuenca, sino que refleja una tendencia general a nivel nacional, como se menciona en el Balance Energético Nacional 2021. Este informe señala que el aumento del consumo en este sector responde a la necesidad de fortalecer la seguridad ciudadana, promover actividades nocturnas y mejorar la calidad de vida de la población mediante sistemas de iluminación más efectivos.

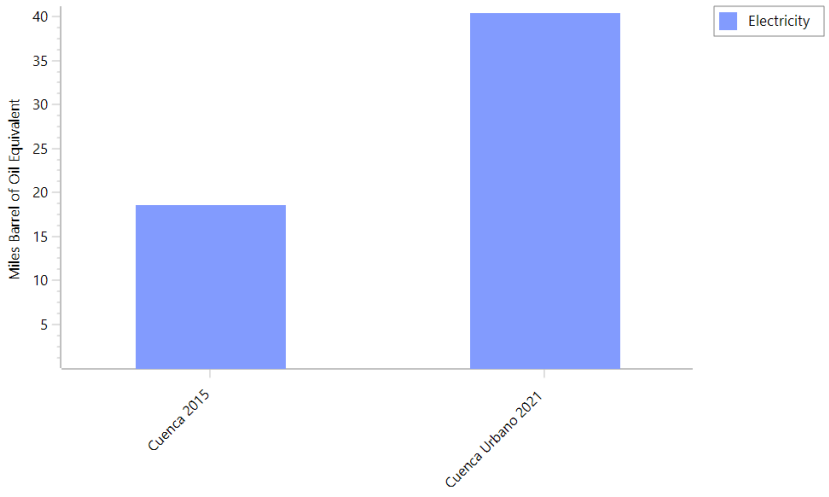


Figura 26. Participación de energética en el sector Alumbrado Publico Cuenca urbano 2015 - 2021.
Fuente: Elaboración Propia.

5.6 Comparación del sector Otros.

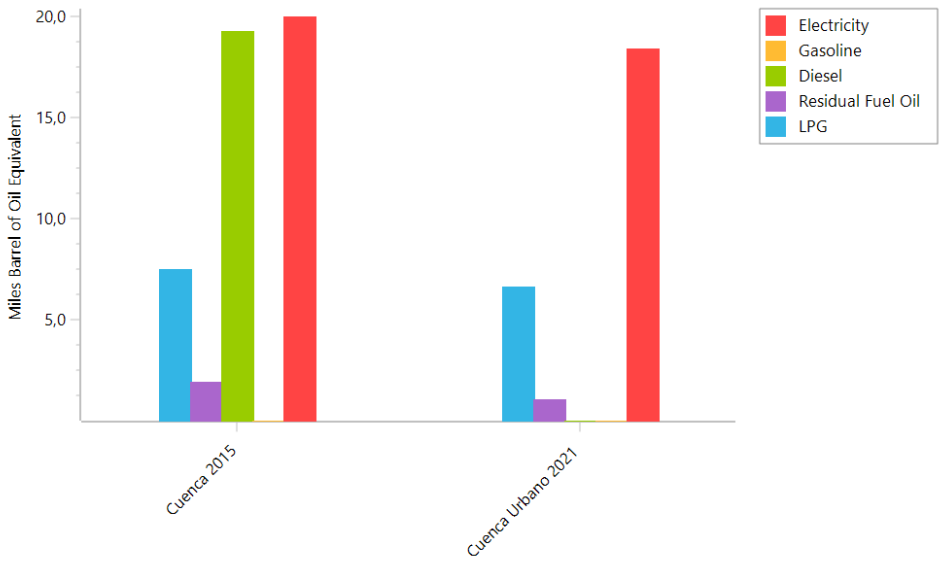


Figura 27. Participación de energética en el sector otros Cuenca urbano 2015 - 2021.
Fuente: Elaboración Propia.

El análisis comparativo del sector "Otros" en Cuenca, que incluye subsectores diversos como educación, salud y algunas actividades administrativas públicas, permite evaluar las variaciones en el consumo de energía entre los años 2015 y 2021. Estos cambios reflejan tanto modificaciones en los patrones de uso energético como transformaciones en la dinámica económica de las actividades vinculadas a este sector. Esta evaluación busca resaltar la relación entre la demanda de energéticos como electricidad, gasolina, diésel, fuel oíl y GLP, y las posibles fluctuaciones en la actividad económica en el período considerado tal como se observa en la Figura 27, ha mostrado una tendencia hacia la reducción de su demanda energética total, como se observa en la Tabla 19. El consumo total pasó de 48,72 kBEP en 2015 a 26,07 kBEP en 2021, lo que representa una disminución del 46,5%.

A continuación, se detallan los cambios en el consumo de cada energético. El análisis de estos cambios ofrece una visión valiosa sobre cómo las dinámicas de producción en este sector impactan los patrones de consumo energético y permite explorar posibles

áreas de mejora y optimización en el uso de recursos.

Tabla 19: Datos otros sectores Cuenca urbano 2015-2021.

	Electricidad 2015 (kBEP)	Gasolina 2015 (kBEP)	Diésel 2015 (kBEP)	Fuel Oíl 2015 (kBEP)	GLP 2015 (kBEP)	Total 2015 (kBEP)	Electricidad 2021 (kBEP)	Gasolina 2021 (kBEP)	Diésel 2021 (kBEP)	Fueloil 2021 (kBEP)	GLP 2021 (kBEP)	Total 2021 (kBEP)
Otros	19,9801	0,0195	19,293	1,934	7,4931	48,72	18,405	0,0104	-	1,035	6,619	26,07
Total	19,9801	0,0195	19,293	1,934	7,4931	48,72	18,405	0,0104	-	1,035	6,619	26,07

Fuente: Elaboración Propia.

Entre los años 2015 y 2021, el sector "Otros" en Cuenca evidenció una disminución generalizada en el consumo de energía, con variaciones significativas en todos los energéticos analizados. El consumo de electricidad presentó una reducción del 7,9%, al pasar de 19,98 kBEP en 2015 a 18,41 kBEP en 2021, un comportamiento que puede atribuirse a mejoras en la eficiencia energética de las actividades relacionadas con este sector, así como al uso racional de la electricidad en ámbitos como servicios públicos, educación y salud.

En el caso de la gasolina, su consumo disminuyó un 46,7%, pasando de 0,0195 kBEP a 0,0104 kBEP en el mismo periodo, lo que sugiere una menor dependencia de este combustible, posiblemente debido a una transición hacia medios de transporte más eficientes o una optimización en el uso de recursos energéticos. De manera similar, el consumo de diésel experimentó una disminución drástica, ya que, mientras en 2015 se registraron 19,29 kBEP, en 2021 no se reportaron datos de consumo, lo cual podría indicar una eliminación de este energético en las actividades del sector o una sustitución por fuentes más sostenibles.

Por otro lado, el consumo de fuel oíl también mostró una reducción importante del 46,2%, al pasar de 1,93 kBEP en 2015 a 1,04 kBEP en 2021, consistente con una tendencia hacia la disminución según el Balance Nacional Energético. Finalmente, el consumo de GLP disminuyó un 11,6%, al pasar de 7,49 kBEP en 2015 a 6,62 kBEP en 2021, un cambio que podría estar vinculado a la optimización del uso de este recurso o a su sustitución parcial por electricidad en ciertas aplicaciones. En conjunto, estas

variaciones reflejan una tendencia clara hacia la reducción en el consumo total de energía del sector "Otros", que pasó de 48,72 kBEP en 2015 a 26,07 kBEP en 2021, equivalente a una disminución del 46,5%, esto se debe principalmente al uso de equipos más eficientes, cambios en el consumo eléctrico, la reducción de la demanda como lo manifiesta [69].

Estos resultados destacan no solo la implementación de estrategias energéticas más eficientes, sino también un cambio gradual hacia fuentes de energía más sostenibles y limpias como lo analiza [54], en línea con los esfuerzos globales y nacionales para optimizar el uso de recursos energéticos y mitigar el impacto ambiental.

Discusión

El análisis comparativo de la matriz energética del cantón Cuenca entre los años 2015 y 2021 ha permitido identificar cambios significativos en la distribución del consumo de energía en los sectores residencial, industrial, transporte y comercial. Estos cambios reflejan el en tendencias tecnológicas y de consumo que han surgido en los últimos años.

En el sector residencial, se observa un incremento en el consumo de electricidad y GLP, particularmente en actividades de cocción y calentamiento de agua sanitaria. Este aumento puede estar relacionado con la mejora en el acceso a estos recursos energéticos, pero también resalta la necesidad de fortalecer políticas de eficiencia energética para mitigar el crecimiento de la demanda. En este sentido, la promoción de tecnologías más eficientes, como calentadores solares y sistemas de iluminación LED, podría representar una estrategia efectiva para reducir el consumo energético en este sector.

El sector industrial ha mostrado una transición hacia un menor consumo de combustibles como el diésel y el fuel oíl, lo que indica menos dependientes de energías fósiles. Sin embargo, aún existe una dependencia considerable de GLP, lo que sugiere la necesidad de diversificar la matriz energética industrial mediante la integración de fuentes renovables y sistemas de autogeneración

En el sector transporte, la alta dependencia de gasolina y diésel sigue representando un reto significativo para la transición hacia un sistema energéticamente sostenible. Aunque en algunos segmentos se ha observado una reducción en el consumo de combustibles fósiles, la electrificación del transporte público y el incentivo para la adopción de vehículos eléctricos deben ser prioridades para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y mejorar la eficiencia energética del sector.

Por otro lado, el sector comercial y el alumbrado público han mostrado un uso moderado de energía, aunque con oportunidades de optimización. La transición hacia sistemas de iluminación LED y el desarrollo de programas de eficiencia energética en el comercio

podría reducir significativamente el consumo de electricidad y los costos operativos.

Finalmente, el modelo LEAP ha demostrado ser una herramienta eficaz para analizar la evolución de la demanda energética y proyectar escenarios futuros. Su aplicación en Cuenca permite evaluar el impacto de diferentes políticas y estrategias de sostenibilidad, proporcionando información clave para la toma de decisiones en la planificación energética del cantón. La reducción en la dependencia de combustibles fósiles y el impulso a energías renovables serán aspectos fundamentales para garantizar un desarrollo sostenible en los próximos años.

Conclusiones

El desarrollo de este trabajo permitió cumplir con los objetivos generales y específicos propuestos, proporcionando un análisis integral de la matriz energética del cantón Cuenca mediante el modelo LEAP. Esta herramienta permitió estructurar el balance energético con un enfoque detallado, abordando tanto la situación actual como la proyección de escenarios futuros para sectores clave como el residencial, industrial, transporte y comercial.

En el sector residencial, se constató un incremento significativo en el uso de GLP y electricidad, especialmente en actividades de cocción y agua caliente sanitaria (ACS). Este crecimiento refleja la mejora en el acceso a estas fuentes, pero también plantea retos en términos de eficiencia energética. La incorporación de tecnologías más eficientes, como calentadores eléctricos optimizados o sistemas solares térmicos, podría reducir la presión sobre los recursos [45]. Además, la transición hacia fuentes de iluminación más eficientes, como LED, y electrodomésticos de bajo consumo representa una oportunidad clave para disminuir el consumo energético [68].

El análisis también evidenció el crecimiento de "otros usos" en el sector residencial, con un aumento del 18% entre 2015 y 2021, lo que indica una mayor electrificación de actividades domésticas. Este crecimiento está relacionado con la mayor presencia de electrodomésticos como lavadoras, aspiradoras y planchas. Estudios locales [68] sugieren que la eficiencia energética podría reducir el consumo eléctrico residencial en un 46%, resaltando la importancia de educar a los consumidores sobre el uso racional de la energía y fomentar la adquisición de dispositivos de menor consumo.

En el sector industrial, el alto consumo de energía se concentra en actividades que dependen principalmente de diésel, fuel oíl y GLP. Esto evidencia la necesidad de diversificar la matriz energética industrial, incentivando el uso de fuentes renovables como la biomasa u otras. Adicionalmente, la implementación de sistemas de monitoreo y control energético en los procesos productivos podría generar importantes ahorros y mejoras en la competitividad del sector.

El sector transporte sigue siendo uno de los mayores consumidores de energía debido a la alta dependencia de gasolina y diésel. Esto plantea la necesidad de promover una transformación tecnológica que favorezca la introducción de vehículos híbridos y eléctricos, así como de fortalecer el transporte público eficiente y sostenible. Además, mejorar la planificación urbana para reducir la necesidad de desplazamientos largos podría contribuir a disminuir el consumo energético de este sector. La adopción de estas medidas no solo reduciría las emisiones, sino que también mejoraría la calidad de vida de los habitantes del cantón. El sector transporte sigue siendo uno de los mayores consumidores de energía debido a la alta dependencia de gasolina y diésel. Esto plantea la necesidad de promover una transformación tecnológica que favorezca la introducción de vehículos híbridos y eléctricos, así como de fortalecer el transporte público eficiente y sostenible. Además, mejorar la planificación urbana para reducir la necesidad de desplazamientos largos podría contribuir a disminuir el consumo energético de este sector. La adopción de estas medidas no solo reduciría las emisiones, sino que también mejoraría la calidad de vida de los habitantes del cantón.

Por su parte, el sector comercial y de alumbrado público muestran un comportamiento energético moderado, aunque con espacio para mejoras. En el comercio, el uso predominante de electricidad puede optimizarse mediante la adopción de prácticas de eficiencia energética. En el alumbrado público, el avance hacia un sistema completamente LED podría consolidarse, reduciendo costos operativos y consumo eléctrico.

En términos globales, el modelo energético del cantón Cuenca presenta una alta dependencia de combustibles fósiles (81% del consumo total), lo que plantea un desafío significativo para la transición hacia energías renovables. Sin embargo, la existencia de recursos locales, como la energía solar y el potencial del biogás, brinda una oportunidad única para diversificar la matriz y avanzar hacia un desarrollo más sostenible.

Finalmente, este trabajo destaca la importancia de una planificación energética integral que no solo considere la oferta y demanda, sino también los impactos económicos, sociales y ambientales. Las herramientas utilizadas, como LEAP y los diagramas de Sankey, demostraron ser efectivas para visualizar los flujos energéticos y proponer escenarios futuros. Este marco puede replicarse en otras ciudades con características

similares, posicionando a Cuenca como un modelo a seguir en planificación energética sostenible. Para garantizar el éxito de las políticas propuestas, será fundamental involucrar a todos los actores, desde los gobiernos locales hasta la ciudadanía, en la implementación de medidas que prioricen la eficiencia y la sostenibilidad.

RECOMENDACIONES

Se recomienda que la carrera de Ingeniería Eléctrica de la sede Cuenca de la Universidad Politécnica Salesiana motive a sus estudiantes a desarrollar investigaciones enfocadas en la matriz energética de la ciudad. Este tema es fundamental para comprender los retos y oportunidades asociados a la transición energética, así como para proponer soluciones innovadoras que mejoren la sostenibilidad y eficiencia del sistema energético local.

Para mejorar la eficiencia energética en Cuenca, se recomienda fomentar la educación sobre el uso racional de la energía en el sector residencial e incentivar la adopción de electrodomésticos eficientes y tecnologías limpias, como cocinas de inducción y calentadores solares. En el sector industrial, se deben promover auditorías energéticas obligatorias, modernización de equipos y el uso de autogeneración con energías renovables. En el transporte, se sugiere la electrificación del sistema público, incentivos para vehículos eléctricos y la mejora de infraestructura para movilidad sostenible. Además, la sustitución de iluminación convencional por tecnología LED en comercios y alumbrado público contribuiría a una reducción significativa en el consumo energético.

BIBLIOGRAFÍA

[1] A. von Meier, Electric Power Systems: A Conceptual Introduction. Hoboken, New Jersey: John Wiley Sons, Inc., 2006.

[2] E. A. B. Escandón and J. T. Cepeda, El autoabastecimiento energético en los países en vías de desarrollo en el marco del metabolismo urbano: caso Cuenca, Ecuador. Universidad de Jaén, Departamento de Ingeniería Gráfica, Diseño y Proyectos, 2018, ch. 6. Discusión, conclusiones, futuras líneas de investigación, pp. 309–336, tesis doctoral, Universidad de Jaén, Jaén, España.

[3] S. S. Arnob, A. I. M. S. Arefin, A. Y. Saber, and K. A. Mamun, "Energy demand forecasting and optimizing electric systems for developing countries," IEEE Access, vol. 11, pp. 39751–39775, 2023, dOI: 10.1109/ACCESS.2023.3250110.

[4] M. Sharma, N. Mittal, A. Mishra, and A. Gupta, "Survey of electricity demand forecasting and demand side management techniques in different sectors to identify scope for improve

[5] G. E. G. Bustamante, "Análisis de escenarios de la gestión del sector industrial del ecuador," Mas ter's thesis, Universidad Central del Ecuador, 2018. [Online]. Available: https://www.dspace.uce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/736eb43e-a318-46ce-b64f-6c718b009811/content 20

[6] J. D. M. Criollo and L. D. V. Mora, "Evaluación de la demanda energética entre vehículos a combustión interna y vehículo eléctrico en la ciudad de cuenca," Master's thesis, Facultad de Ciencia y Tecnología, Escuela de Ingeniería en Mecánica Automotriz, 2022. [Online]. Available: https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/12566/5/18093.pdf

[7] I. N. de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER), Escenarios de prospectiva energética para Ecuador a 2050. Quito, Ecuador: INER, 2016, iSBN: 978-9942-8620-4-4.

[8] H. Salami, K. Okpara, C. Choochuay, T. Kuaanan, D. Akeju, and M. Shitta, "Domestic energy consumption, theories, and policies: a syste matic review," Environment, Development and Sustainability, dec 2023.

[9] L. E. A. Ordóñez and D. S. A. Viñanzaca, "Análisis de escenarios de eficiencia energética en el sector residencial del cantón cuenca utilizando el modelo leap," Master's thesis, Universidad Politécnica Salesiana, 2019. [Online]. Available: https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17366

[10] C. Heaps, S. Ulloa, and J. Veysey, LEAP 2024 Training Exercises: A Comprehensive Guide for Low Emissions Analysis, 2024th ed., Stockholm Environment Institute– U.S. Center, Stockholm, Sweden, jul 2024. [Online]. Available: https://leap.sei.org/default.asp?action= trainingmaterials

[11] C. Heaps, LEAP: Long-range Energy Alternatives Planning System. Stockholm Environment

Institute, 2018. [Online]. Available: https://www.energycommunity.org
[12] OLADE, Manual de Planificación Energética, 2017. [Online]. Available: https://www.olade.org/wp-content/uploads/2021/03/Manual_Planificacion_Energetica_Espanol_Final22-05-2017.pdf
[13] IRENA, "Renewable energy and climate change," 2021. [Online]. Available: https://www.irena.org
[14] UN-Habitat, "Urban energy transition," 2020. [Online]. Available: https://unhabitat.org
[15] E. P. de la Energía, "El consumo mundial de energía crecerá casi el 50 % para 2050, liderado por las renovables," https://elperiodicodelaenergia.com/el-consumo-mundial-de-energia-crecera-casi-el-50-para-2050-liderado-por-las-renovables/, 2024, accedido: 10 de octubre de 2024.
[16] REN21, Renewables Global Status Report. Paris, France: Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, 2021.
[17] H. Geller, Policies for Increasing Energy Efficiency. London, UK: Energy Policy, 2006.
[18] C. J. D. Álvarez, "Metabolismo urbano: herramienta para la sustentabilidad de las ciudades," INTER DISCIPLINA, vol. 2, no. 2, 2014.
[19] "Metabolismo urbano circular: las ciudades como organismos vivos," Fundación Mar Adentro, 2021. [Online]. Available: https://fundacionmaradentro.cl
[20] Retorna. (2018) Las ciudades: adaptarse o morir - metabolismo urbano circular. Accessed: Oct. 10, 2024. [Online]. Available: https://retorna.cl/wp/2018/11/28/las-ciudades-adaptarse-o-morir-metabolismo-urbano-circular/
[21] IRENA, Renewable Power Generation Costs in 2020. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 2020.
[22] G. E. Assessment, Global Energy Assessment: Toward a Sustainable Future. New York, USA: Cambridge University Press, 2012.
[23] UNEP, Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication. Nairobi, Kenya: United Nations Environment Programme, 2011.
[24] I. E. A. (IEA), World Energy Outlook 2020. Paris, France: International Energy Agency, 2020.
[25] I. P. on Climate Change, "Climate change 2021: The physical science basis," Cambridge University Press, 2021.
[26] W. Bank, Climate Change and Urbanization: Impacts on Urban Resilience. Washington D.C.: World Bank Group, 2020.
[27] OLADE, Energías Renovables en América Latina y el Caribe. Quito, Ecuador: Organización Latinoamericana de Energía, 2017.

[28] J. A. Laitner, “Using the leap model to analyze u.s. energy consumption,” Journal of Energy Economics, vol. 28, no. 4, pp. 400–419, 2006.

[29] N. R. E. Laboratory, “Energy flow charts,” NREL, 2012.

[30] H. R. Sankey, On the Conservation of Energy, 1898.

[31] U. Nations, Sustainable Development Goals. New York, USA: United Nations, 2016.

[32] E. Commission, “The role of cities in the energy transition,” European Commission Report, 2019.

[33] IRENA, Accelerating the Energy Transition in Cities. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 2021.

[34] W. W. F. (WWF), Renewable Energy: Key to a Sustainable Future. Gland, Switzerland: WWF, 2020.

[35] W. B. C. for Sustainable Development (WBCSD), Business and the Role of Community in Sustainable Development. Geneva, Switzerland: WBCSD, 2010.

[36] J. Evans and P. Karvonen, “Community engagement in sustainable energy initiatives,” Sustainable Cities and Society, vol. 7, pp. 245–257, 2016

[37] Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero, *Base de datos de hidrocarburos del Ecuador, año 2021*, archivo Excel. Proporcionado bajo solicitud directa, 2021.

[38] Centrosur, *Base de datos de consumo eléctrico, año 2021*, archivo Excel. Proporcionado bajo solicitud directa, 2021.

[39] EMOV EP, *Base de datos de movilidad urbana, años 2020 y 2021*, archivo Excel. Proporcionado bajo solicitud directa, 2021.

[40] Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), “Acceso a bienes y servicios. Boletín Nacional,” 2021. [Online]. Available: https://www.censoecuador.gob.ec/public/Boletin_Nacional.htm#523_Acceso_a_bienes_y_servicios32.

[41] IDEE, "Balances energéticos," en Seminario-Taller: Política energética para el desarrollo sustentable y el uso del Modelo LEAP*, 15.ª ed., Bariloche, Argentina, Fundación Bariloche, 2016, pp.12-15.

[42] "Censo Ecuador," *ecudatanalytics.com*, [Enlace]. Disponible en: https://censoecuador.ecudatanalytics.com/

[43] U.S. Department of Energy, *Manufacturing Energy and Carbon Footprints 2018 (MECS)*, [Enlace]. Disponible en: https://www.energy.gov/eere/iedo/manufacturing-energy-and-carbon-footprints-2018-mecs .

[44] Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables, *Balance Energético Nacional 2021*, [Enlace]. Disponible en: https://www.recursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2022/08/Balance_Energe%CC%81tico_Nacional_2021-VF_opt.pdf

[45] J. C. Jiménez Patiño y H. P. Llivichusca Chacha, "Diseño, implementación y monitoreo de calentadores híbridos con energía solar-GLP y energía solar-calentadores eléctricos para la obtención de agua caliente sanitaria," Tesis, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador, octubre 2014.

[46] P. Martínez, "Usos finales de energía eléctrica y GLP en el cantón Cuenca. Escenarios al año 2015," Tesis, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador, 2010.

[47] D. G. Tello Urgilés, "Análisis técnico del comportamiento del consumo y la demanda eléctrica en viviendas típicas de la ciudad de Cuenca, debido a la incorporación de la cocina de inducción y sistemas eléctricos para ACS," Tesis, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador, enero 2015.

[48] J. S. Guamán Herrera y D. P. Peña Banegas, "Evaluación Energética-Económica de los Sistemas de Iluminación Residencial en la Ciudad de Cuenca," Tesis, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador, 2015.

[49] Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER), *Elaboración de la Prospectiva Energética del Ecuador 2012-2040*, Quito, Ecuador: MEER, 2015. Disponible en: https://info.undp.org/docs/pdc/Documents/ECU/Version%20Final%20Informe%20Completo%20Prospectiva.pdf

[50] D. M. Álvarez Abad, *Evaluación de los impactos en el consumo de energía eléctrica asociados al uso de refrigeradores eficientes en el Ecuador: Programa Renova Refrigerador*. Tesis de grado, Carrera de Ingeniería Mecánica, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador, marzo 2015.

[51] Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC EP), *Balance Energético Nacional BEN 2022*, [Enlace]. Disponible en: https://www.celec.gob.ec/wp-content/uploads/2023/08/Balance-Energetico-Nacional-BEN-2022_.pdf

[52] E. F. Sánchez Úbeda, J. Portela González, A. Muñoz San Roque, E. Chueca y M. Hallack, *Impacto del COVID-19 en la demanda de energía eléctrica en Latinoamérica y el Caribe*, Banco Interamericano de Desarrollo, 2021. [En línea]. Disponible en: https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode

[53] C. G. Heaps, *Long-range Energy Alternatives Planning (LEAP) system*. Somerville, MA, USA: Stockholm Environment Institute, 2016.

[54] E. S. Ulloa Arízaga, *Eficiencia del consumo eléctrico en el sector residencial urbano de Cuenca*, Tesis de Maestría, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador, 2015.

[55] R. O'Ryan, "Diseño de un Modelo de Proyección de Demanda Energética Global Nacional de Largo Plazo," Programa de Gestión y Economía Ambiental, Universidad de Chile, Informe Final, 2008. [En línea]. Disponible en: https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2015/07/texto2.pdf

[56] J. Somoza Cabrera y P. Álvarez Medero, "Herramientas para la Formulación de Política Energética: el Análisis Prospectivo en la Construcción de Escenarios Energéticos y el Uso de Modelos para su Formalización," Instituto Nacional de Investigaciones Económicas, Cuba, 2003. [En línea]. Disponible en: https://www.nodo50.org/cubasigloXXI/economia/somozaca_301103.pdf

[57] A. García-Olivares, J. Ballabrera-Poy, E. García-Ladona y A. Turiel, "A global renewable mix with proven technologies and common materials," Energy Policy, vol. 41, pp. 561-574, 2012. [En línea]. Disponible en: http://dspace.aeipro.com/xmlui/bitstream/handle/123456789/3455/AT05-009_23.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[58] J. D. Martínez y L. A. Sierra, "Prospective analysis of the Colombian power generation system using LEAP," DYNA, vol. 79, no. 171, pp. 57-65, 2012. [En línea]. Disponible en: https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/41991

[59] Comisión Nacional de Energía de República Dominicana y Fundación Bariloche, "Prospectiva de la Demanda de Energía de República Dominicana," Informe Final, 2014. [En línea]. Disponible en: https://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00766.pdf

[60] S. Mokwena, "Scenarios of Energy Transition in South Africa: LEAP Projections," Energy Journal, vol. 45, no. 3, pp. 123-135, 2021.

[61] S. M. Feijoó González, "Proyección energética y de emisiones del sector transporte en el cantón Cuenca, utilizando el modelo LEAP," Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador, 2019. [En línea]. Disponible en: http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17365.

[62] L. E. Abad Ordóñez y D. S. Aguaiza Viñanzaca, "Análisis de escenarios de eficiencia energética en el sector residencial del cantón Cuenca utilizando el modelo LEAP," Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador, 2019. [En línea]. Disponible en: http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17366.

[63] J. Fontalvo, J. Ramírez y J. Constante, "Prospectiva de Autogeneración en el Ecuador mediante uso de Modelo LEAP," Revista Técnica Energía, vol. 14, no. 1, pp. 51-60, 2018. [En línea]. Disponible en: https://revistaenergia.cenace.gob.ec/index.php/cenace/article/view/323/308.

[64] J. Morales y I. Sauer, "Impacto del Programa de Eficiencia Energética en la Cocción (PEC) en el sector residencial ecuatoriano," Revista Técnica Energía, vol. 15, no. 1, pp. 51-60, 2018. [En línea]. Disponible en: http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/rte/v15n1/2602-8492-rte-15-01-00051.pdf.

[65] L. M. Rivera González, "Proyección de la demanda eléctrica en Ecuador," Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España, 2019. [En línea]. Disponible en: https://oa.upm.es/58110/1/LUIS_MIGUEL_RIVERA_GONZALEZ_01.pdf.

[66] Cámara de Industrias y Producción (CIP), "Balance del sector industrial en 2021 y

proyecciones de la CIP para 2022," 27 de diciembre de 2021. [En línea]. Disponible en: https://www.cip.org.ec/2021/12/27/balance-del-sector-industrial-en-2021-y-proyecciones-de-la-cip-para-2022/.

[67] Banco Central del Ecuador, "Valor Agregado Bruto Cantonal - Miles de dólares, año 2019 (provisional)," Subgerencia de Programación y Regulación - Dirección Nacional de Síntesis Macroeconómica, Ecuador. [Archivo Excel]. [En línea].
[68] A. C. Espinoza y J. M. Ordóñez, "Eficiencia energética en el sector residencial de la Ciudad de Cuenca, Ecuador," *Maskana*, vol. 13, no. 2, pp. 45-57, 2022. [En línea]. Disponible en: https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/maskana/article/download/1065/934.

[69] A. E. Calle Bustamante y J. M. Ortiz Fernández, *Evaluación del Consumo Energético en la Fase de Uso de la Edificación Residencial en Cuenca. Diseño de Estrategias para un Modelo de Vivienda Eficiente*, Universidad de Cuenca, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, 2016.

[70] J. Smith, A. Johnson, and L. Brown, "Title of the Article," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 45, no. 7, pp. 123-130, 2020. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032120302045. [Accessed: 02-Feb-2025].