

DOI: <https://doi.org/10.46296/ig.v7i14edespoc0233>

PROYECCIÓN ÓPTIMA DE LA DEMANDA ELÉCTRICA DE LA EMPRESA ELÉCTRICA DE COTOPAXI

OPTIMAL PROJECTION OF ELECTRICAL DEMAND OF THE COTOPAXI ELECTRICAL COMPANY

Masaquiza-Vera Cristhian Lenin ¹; Quinatoa-Caiza Carlos Iván ²;
Paguay-Llamuca Alex Iván ³;

¹ Universidad Técnica de Cotopaxi. El Coca, Ecuador. Correo: cristhian.masaquiza1685@utc.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0004-6526-7897>

² Universidad Técnica de Cotopaxi. Latacunga, Ecuador. Correo: carlos.quinatoa7864@utc.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6369-7480>

³ Universidad Técnica de Cotopaxi. Riobamba, Ecuador. Correo: alex.paguay4248@utc.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0008-4166-6067>

Resumen

El artículo presenta un análisis de la demanda eléctrica proyectada en la provincia de Cotopaxi, utiliza el modelo LEAP para realizar una predicción detallada de la demanda energética durante el período 2022-2050. La investigación responde a la necesidad de anticipar los requerimientos de infraestructura y evaluar el impacto de políticas de eficiencia energética. Se ha proyectado que la demanda eléctrica aumentará de 381,657 PJ en 2022 a 692,754 PJ en 2050, reflejando una tasa de crecimiento anual del 2%. Aunque la demanda rural actualmente predomina, se anticipa un incremento significativo en la demanda urbana, que pasará del 23.1% en 2022 al 26.8% en 2050. Estos hallazgos son fundamentales para la planificación energética sostenible, subrayando la necesidad de mejorar la infraestructura existente y adoptar medidas de eficiencia energética para gestionar el crecimiento de la demanda y reducir el impacto ambiental. Los resultados proporcionan una base sólida para la formulación de políticas energéticas estratégicas en la región, asegurando un suministro energético eficiente y sostenible a largo plazo.

Palabras clave: Demanda eléctrica, LEAP, Eficiencia Sostenible, Proyección.

Abstract

The article presents an analysis of the projected electricity demand in the province of Cotopaxi, utilizing the LEAP model to conduct a detailed projection of energy demand for the period 2022-2050. The research addresses the need to anticipate infrastructure requirements and assess the impact of energy efficiency policies. It is projected that electricity demand will increase from 381,657 PJ in 2022 to 692,754 PJ in 2050, reflecting an annual growth rate of 2%. Although rural demand currently predominates, a significant increase in urban demand is anticipated, rising from 23.1% in 2022 to 26.8% in 2050. These findings are crucial for sustainable energy planning, emphasizing the need to improve existing infrastructure and adopt energy efficiency measures to manage demand growth and reduce environmental impact. The results provide a solid foundation for the formulation of strategic energy policies in the region, ensuring an efficient and sustainable energy supply in the long term.

Keywords: Electric demand, LEAP, Sustainable efficiency, Projection.

Información del manuscrito:

Fecha de recepción: 15 de julio de 2024.

Fecha de aceptación: 05 de septiembre de 2024.

Fecha de publicación: 07 de octubre de 2024.



1. Introducción

La energía es un pilar esencial en el mundo moderno, impulsando las economías nacionales, afectando las condiciones medioambientales y contribuyendo directamente al bienestar de la población. En Ecuador, asegurar un suministro energético accesible y seguro es crucial para mantener un país próspero y beneficioso para sus ciudadanos y sectores productivos. La proyección de la demanda energética es un componente clave para la planificación de la expansión de los sistemas eléctricos de distribución, permitiendo la formulación de soluciones óptimas y la orientación táctica y estratégica de futuras inversiones. Además, un análisis riguroso de las tendencias de consumo energético puede identificar oportunidades para mejorar la eficiencia y reducir costos. Por lo tanto, una gestión eficaz del suministro energético es fundamental para el desarrollo sostenible del país. La energía es fundamental en el mundo moderno, ya que impulsa las economías nacionales, influye en las condiciones medioambientales y contribuye directamente al bienestar

de la población. En Ecuador, asegurar un suministro energético accesible y seguro es esencial para mantener un país próspero y beneficioso para sus ciudadanos y sectores productivos (Meza Segura & Luyo-Kuong, 2020). La proyección de la demanda energética es clave para la planificación de la expansión de los sistemas eléctricos de distribución, permitiendo la formulación de soluciones óptimas y la orientación táctica y estratégica de futuras inversiones (Meza Segura & Luyo-Kuong, 2020). Además, un análisis riguroso de las tendencias de consumo energético puede identificar oportunidades para mejorar la eficiencia y reducir costos, lo cual es fundamental para el desarrollo sostenible del país. En 2021, a nivel cantonal, se notó que la mayoría de la población se encontraba en zonas rurales, con la excepción del cantón La Maná. Los cantones Pangua y Sigchos mostraron un alto porcentaje de población rural, con un 92% y 91% respectivamente. A estos les siguieron los cantones Pujilí, Salcedo, Saquisilí y Latacunga, con un 85,43%, 78,55%, 71,54% y 62,55% respectivamente. Esto refleja que la provincia de Cotopaxi

es predominantemente agropecuaria, donde la principal fuente de ingresos proviene de actividades económicas como la agricultura y la ganadería (Guaman & Bravo, 2021). El censo, realizado decenalmente, revela que la provincia de Cotopaxi tenía una población de 424,663 habitantes en el año 2010, cifra que aumentó a 488,716 en 2020, representando aproximadamente el 2,79% de la población total del país (Guaman & Bravo, 2021). Según las proyecciones demográficas, la población de la provincia pasó de aproximadamente 457,404 habitantes en 2015 a 488,716 en 2020. A diez años después sigue habiendo una gran afluencia en que la parte rural es la más importante en la provincia de Cotopaxi (David et al., n.d.). En el ámbito de la energía, la electricidad desempeña un rol crucial en la sociedad contemporánea, al ser el vector energético más versátil debido a su amplia gama de aplicaciones y su impacto significativo en la vida cotidiana (Labein Tecnalia, 2007). A diferencia de otros portadores de energía, la electricidad ofrece ventajas notables al permitir la transmisión eficiente de

energía proveniente de fuentes renovables. Además, los dispositivos y sistemas diseñados para operar con electricidad tienden a ser más eficientes en comparación con aquellos que utilizan otros tipos de energía (Pazmiño Ordóñez et al., 2019). Estos desafíos requieren un enfoque multidisciplinario, herramientas analíticas avanzadas y una planificación estratégica rigurosa para proporcionar estimaciones precisas y confiables de la demanda eléctrica futura (Fontalvo et al., 2018). Se captura la relación entre el comportamiento del consumo y las opciones tecnológicas. También se consideran las energías tradicionales y las diferencias en la demanda según la clase de ingresos (Cai et al., 2013). El enfoque de uso final refleja la transición en el uso de energía en el sector residencial, influenciada por los efectos de los ingresos y las políticas. Este enfoque es especialmente adecuado para los países en vías de desarrollo, donde la evolución del consumo energético y las políticas gubernamentales pueden tener un impacto significativo en la demanda energética futura (Benito & Arena, 2020). La finalidad

de este trabajo es para proyectar con precisión la demanda energética futura, garantizando un suministro adecuado y eficiente que satisfaga las crecientes y cambiantes necesidades del país (Benito & Arena, 2020). Mediante una simulación detallada, se proporcionará una base robusta para la formulación de políticas y estrategias que optimicen el suministro energético y minimicen los impactos ambientales adversos (Edgar M. Zapata & Alvaro S. Mullo Q, n.d.). Medir la actividad energética en los hogares presenta un desafío considerable debido a la diversidad de actividades que consumen energía. Por ello, se utiliza la cantidad de hogares como un indicador representativo de la actividad residencial, se recalca en este trabajo que no es un método de generación distribuida (Sreekanth, 2016). Para las unidades de los datos obtenidos optaremos por ocupar los Petajoules que es una unidad de energía en el sistema internacional (SI) y es más común en contextos donde se discuten grandes cantidades de energía, como en la evaluación de la demanda energética de un país, el consumo energético de grandes

sectores industriales, o la producción de energía a nivel nacional o global, como lo evalúa (Jha & Puppala, 2017). Este estudio se basa en datos de 2022 debido a la fiabilidad y accesibilidad de la información en fuentes de acceso abierto. Aunque el 2023 ya es un año transcurrido, la limitada disponibilidad de datos públicos para dicho año nos llevó a seleccionar el 2022 como punto de partida para las proyecciones energéticas. El artículo tiene como objetivo desarrollar la proyección de la demanda eléctrica en la provincia de Cotopaxi para el periodo 2022-2050, utilizando el software LEAP. Este enfoque busca mejorar la eficiencia energética de la región.

2. Materiales y métodos

Modelo

LEAP (Plataforma de Análisis de Bajas Emisiones) es una herramienta reconocida mundialmente, creada por el Instituto de Medio Ambiente de Estocolmo, para analizar políticas energéticas y estrategias de mitigación del cambio climático. Adoptada en más de 190 países por gobiernos, universidades, ONGs y empresas energéticas, LEAP se utiliza en escalas que van

desde ciudades hasta aplicaciones globales. (Heaps, 2022). El modelo LEAP se destaca por su estructura de datos adaptable, que combina facilidad de uso con un alto nivel de detalle técnico para los usuarios finales. Ha sido extensamente implementado por diversas organizaciones a nivel local, nacional e internacional para proyectar tanto la oferta como la demanda de energía, prever el impacto ambiental de las políticas energéticas e identificar posibles retos futuros. Es utilizado a nivel mundial para evaluar el consumo energético y las emisiones de gases de efecto invernadero en diversos sectores clave: áreas urbanas, rurales e industriales (Heaps, 2022). Esta herramienta ha demostrado ser valiosa para analizar el impacto ambiental y la eficiencia energética en estos ámbitos fundamentales de la actividad humana (S E I, 2005). Estudios anteriores, como el de (Cai et al., 2013), han centrado su análisis en la simulación y evaluación de diferentes escenarios de políticas de planificación eléctrica en China para el período de 2010 a 2050, algunos de estos modelos se caracterizan con los modelos como el de

(Sepulveda et al., 2024). En este estudio, se desarrollaron tres escenarios: uno de referencia, otro que prioriza la captura y almacenamiento de carbono (CCS), y un tercero enfocado en la energía nuclear. De manera similar, (Mirjat et al., 2018) analizaron y proyectaron la demanda y oferta de electricidad en Pakistán entre 2015 y 2050, formulando cuatro escenarios de suministro energético: Escenario de Referencia (REF), Tecnologías de Energía Renovable (RET), Máxima Utilización del Carbón Limpio (CCM), y Eficiencia Energética y Conservación (EEC).

Recopilación de datos

El método utilizado en este estudio es de carácter cuantitativo y descriptivo, basado en la recopilación y análisis de datos secundarios provenientes de fuentes oficiales. La principal fuente de información fue el Sistema de Información y Estadística Energética (SISDAT) de la Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL). Este sistema proporciona un repositorio exhaustivo de datos relacionados con la generación, distribución y

consumo de electricidad en Ecuador, incluyendo estadísticas históricas de las centrales eléctricas desagregadas por provincia. El desarrollo de modelos de previsión también viene determinado por la disponibilidad de datos pertinentes (Agencia de regulación y control de energía y recursos no renovables, 2022). El cambio económico estructural y el aumento de la proporción de hogares rurales tienen efectos indirectos en la futura demanda de energía (Chen et al., 2019).

Para lograr un enfoque más técnico y preciso, se utilizó el Sistema de Información y Estadística Energética (SISDAT) de la Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL) (Salazar & Panchi, 2014).

La recolección de datos incluyó información poblacional y

económica, fundamentales para establecer proyecciones confiables. Posteriormente, se examinó el uso de energía en distintos sectores (residencial, industrial, transporte), previendo futuras necesidades en función de las tendencias demográficas y económicas (Agencia de regulación y control de energía y recursos no renovables, 2022). El uso de LEAP facilita la integración de datos complejos y la generación de proyecciones precisas de la demanda energética, cruciales para el desarrollo de políticas energéticas y la planificación de la infraestructura eléctrica. *[Error! No se encuentra el origen de la referencia.]* presenta los datos específicos utilizados para la proyección, los cuales fueron procesados a través de LEAP, proporcionando un sustento sólido para las conclusiones del estudio.

Tabla 1. Datos generales para la proyección de demanda

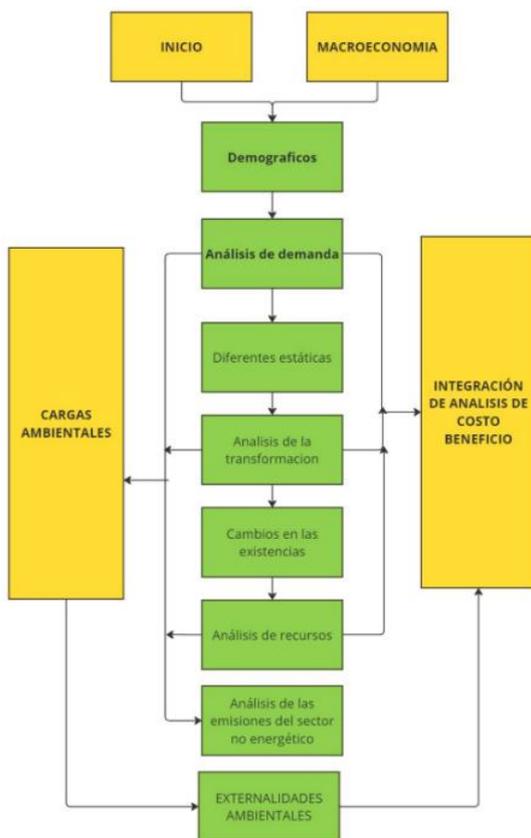
Nombre	Descripción
<i>Producción energética</i>	Producción de energía por tipo planta (Hidroeléctrica, solar, térmica, etc)
<i>Demanda</i>	Consumo de energía en diferentes sectores (residencial, industrial, comercial)
<i>Pérdidas eléctricas</i>	Perdidas en el sistema de transmisión y distribución
<i>Datos históricos de centrales</i>	Datos históricos de generación y consumo para el análisis de tendencias.

Fuente: Cristhian Lenin Masaquiza Vera

Manejo de datos en LEAP

Este software se utilizó para modelar el consumo energético en la región de Cotopaxi. En un nivel, los cálculos integrados de LEAP gestionan todos los cálculos de contabilidad de energía, emisiones y análisis costo-beneficio "no controversiales" (Heaps, 2022). La Figura 1 ilustra la estructura de cálculo de LEAP, proporcionando un entorno comprensivo para el simulador.

Figura 1. Metodología de manejo de datos del programa LEAP.



Fuente: Hecha por el propio Autor

Los cálculos de demanda energética en LEAP difieren dependiendo de si está realizando un Análisis de Actividad, un Análisis de Existencias o un Análisis de Transporte (Mirjat et al., 2018). Aquí en esta investigación para el procesamiento y análisis de los datos, se utilizó el software LEAP (Long-range Energy Alternatives Planning System), el cual permite realizar cálculos detallados de la demanda energética a través de un análisis de actividad final.

En este contexto, la demanda de energía se calcula como el producto del nivel de actividad total y la intensidad energética en cada rama tecnológica. La demanda de energía se calcula como el producto entre el nivel total de actividad (TA) y la intensidad energética (EI). La intensidad energética, que es una métrica de eficiencia en el uso de la energía, se deriva directamente del software en función de los datos ingresados, y su cálculo automático asegura la consistencia y precisión en las proyecciones energéticas. La Ecuación 1 se denota por lo siguiente.

$$D_{b,s,t} = T_{Ab,s,t} \times EI_{b,s,t} \quad (1)$$

Para el año base ($t=0$), se observa un cambio en la Ecuación 2.

$$Db, 0 = TAb, 0 \times EIb, 0 \quad (2)$$

La demanda energética para cada rama tecnológica se asocia con un combustible específico. LEAP calcula la demanda total de energía final para cada combustible sumando las demandas de todas las ramas tecnológicas. El nivel de actividad total de una tecnología se calcula multiplicando los niveles de actividad de todas las ramas desde la tecnología hasta la demanda original, se observa en la Ecuación 3.

$$TAb, s, t = Abs, t' \times Abs, t'' \times Abs, t''' \times \dots \quad (3)$$

Las ramas sin datos y la rama "Demanda" tienen un nivel de actividad de 1. Los valores porcentuales se convierten a fracciones (0-1) para los cálculos. La energía consumida se calcula mediante la Ecuación 4

$$EC_n = \sum_i \sum_j AL_{n,j,i} \times EL_{n,j,i} \quad (4)$$

Donde EC es el consumo energético total de un sector dado, y AL es el nivel de actividad, una medida de la

actividad social o económica para la cual se consume energía. AL se mide anualmente como una escala de unidades por hogar o toneladas para la industria. En las Cuentas Corrientes se especifican las intensidades energéticas finales para la categoría con tipo de rama de intensidad energética agregada, y las cuotas de combustible y eficiencias para cada rama tecnológica a continuación. Para cada rama tecnológica se ve en la Ecuación 5.

$$UE_{b,0} = EI_{AG,0} \times FS_{b,0} \times EFF_{b,0} \quad (5)$$

Donde $b = 1 \dots B$

La intensidad útil de la rama de intensidad energética agregada es la suma de las intensidades útiles de cada rama tecnológica, esto es la Ecuación 6

$$UE_{AGG,0} = \text{Sum}_b = 1..B UE_{b,0} \quad (6)$$

La cuota de actividad (es decir, la cuota del número de tecnologías, en lugar de la cuota de combustible) es el producto de la cuota de combustible y la eficiencia de cada tecnología b , Ecuación 7.

$$AS_{b,0} = \frac{UE_{b,0}}{UE_{AGG,0}} \quad (7)$$

$$AS_{(b,0)} = UE_{(b,0)} / UE_{(AGG,0)} \quad (5)$$

Donde AS es la cuota de actividad.

Donde $E_{IAG,0}$ es la intensidad energética final en la rama de intensidad energética agregada, UE es la intensidad energética útil en una rama tecnológica b, FS es su cuota de combustible, EFF es su eficiencia y b es una de las ramas tecnológicas B. Por ejemplo, si se considera una rama de energía agregada con una intensidad final de 100 GJ por actividad y dos tecnologías con una proporción de combustible del 50% cada una, una tecnología con una eficiencia del 100% (electricidad) y otra con una eficiencia del 70% (gas natural), las intensidades útiles de estas tecnologías serían 50 GJ/actividad y 35 GJ/actividad, respectivamente. Las participaciones en la actividad serían del 59% para la electricidad y del 41% para el gas natural. Este análisis de la demanda de energía útil proporciona una visión más precisa del consumo energético real

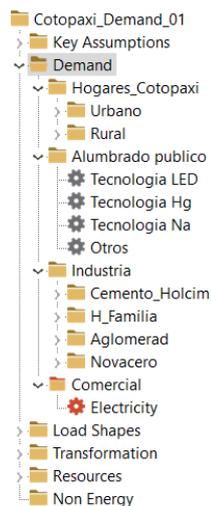
y la eficiencia de las tecnologías, lo que es fundamental para la planificación energética y la optimización de recursos en el contexto del estudio.

Desarrollo de escenarios e hipótesis

Los escenarios planteados se basan en los datos del Sisdat (Agencia de regulación y control de energía y recursos no renovables, 2022), que proporcionan estadísticas sobre la capacidad eléctrica de las empresas distribuidoras. Además, se incorporan los servicios energéticos, construyendo así la propuesta de referencia, denominada REF. Cabe destacar que en el escenario de referencia hemos añadido un incremento de acuerdo con el PDYOT de la provincia de Cotopaxi (Guaman & Bravo, 2021). El escenario REF representa la situación base sin intervención de políticas energéticas. No obstante, la diferencia en esta investigación radica en el cálculo de la demanda futura en PetaJoules, considerando tanto las áreas urbanas y rurales como la iluminación utilizada. Esta investigación se enfoca exclusivamente en la demanda

futura hasta el año 2050. En la Figura 2 está la rama de demanda, formada por los hogares de Cotopaxi, las industrias que mayor consumo de energía tienen. Los hogares se dividen en su vez en hogares urbanos y rurales, que representan la situación actual de los hogares de la provincia de Cotopaxi. Los hogares rurales y urbanos se clasificaron en electrificados y no electrificados, según los datos por el INEN.

Figura 2 Modelo LEAP, ramas y sub ramas



Fuente: Cristhian Masaquiza

3. Resultados y discusión

Demanda Energética

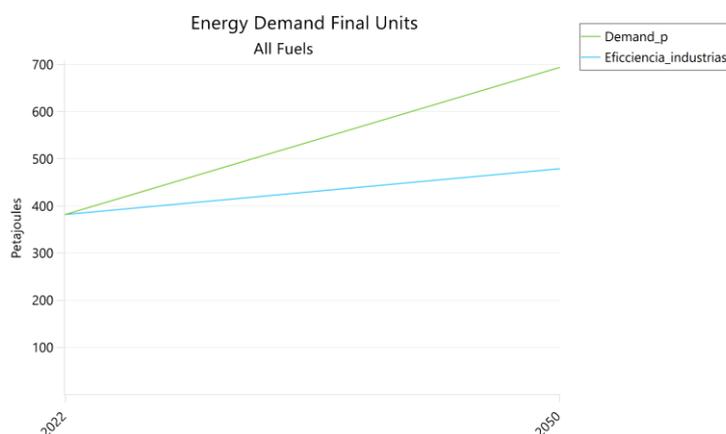
En general, se proyecta que el consumo de energía aumentará de manera constante hasta 2050 en cada escenario, aunque con

diferentes tasas de crecimiento. Los valores de consumo total de energía en el modelo LEAP para la provincia de Cotopaxi en los dos escenarios se presentan en la Figura 3. Esta figura representa la demanda energética final bajo el escenario "Demand_p" (en verde) y el escenario "Eficiencia_industrias" (en azul). En el escenario "Eficiencia_industrias", la demanda es significativamente menor en comparación con el escenario de referencia, debido a la integración de sistemas fotovoltaicos en el sector industrial, lo que reduce la carga energética. Esta intervención no solo disminuye la demanda futura, sino que también fomenta un uso más eficiente y sostenible de los recursos energéticos, alineándose con las estrategias de mitigación de emisiones y eficiencia energética. En el escenario de referencia (Demand_p), se proyecta que el consumo energético alcanzará los 693.691 Petajoules (PJ) en 2050, partiendo de 381.842 PJ en 2022, con una tasa de crecimiento anual del 2%. Esta tasa ha sido determinada tras un análisis exhaustivo de estudios previos y proyecciones robustas realizadas en el marco de esta investigación,

basadas en datos históricos y tendencias observadas. Por otro lado, en el escenario "Eficiencia_industrias", orientado hacia la eficiencia energética en el sector industrial, se proyecta una disminución anual del 2% en la demanda de energía, iniciando también en 381.842 PJ en 2022, pero alcanzando 478.765 PJ en 2050. Esta reducción es atribuida a la implementación de tecnologías y medidas de eficiencia que optimizan el consumo energético. En cuanto al sector comercial, aunque se observa un crecimiento en la demanda, su impacto sigue siendo marginal en comparación con el sector industrial. El consumo en este sector pasa de 0.184 PJ en 2022 a 0.723 PJ en

2050. Aunque el incremento es notable, no representa un cambio significativo en el panorama general de la demanda energética. Cabe señalar que este estudio se centra en el análisis del sector industrial, comercial y residencial que representan la mayor porción del consumo energético en la provincia. Si bien el sector de transporte también es relevante en la región, ha sido excluido del análisis para mantener el enfoque en la evaluación del impacto y las mejoras en la eficiencia energética industrial. Este enfoque sectorial permite una evaluación más clara y detallada de las oportunidades de optimización en un sector crítico para el desarrollo económico de Cotopaxi.

Figura 3. Curva de demanda energética pronosticada de ambos escenarios.



Fuente: Cristhian Masaquiza

Ahora nos centramos en el escenario de referencia "Demand_p". En 2022,

el porcentaje de demanda energética en la zona rural era del 76.9%,

mientras que en la zona urbana era apenas del 23.1%. Sin embargo, para el año 2050, esta tendencia cambia: la demanda en la zona rural se reduce al 73.2%, mientras que la demanda en la zona urbana aumenta al 26.8%. A pesar de esta variación, el escenario no es muy factible, ya que la demanda energética en la parte rural de Cotopaxi sigue siendo significativamente mayor que en la zona urbana. Al profundizar en el escenario "Demand_p", observamos las divisiones entre las áreas urbanas y rurales. Estas divisiones incluyen subcategorías de áreas electrificadas, cocinas para el área urbana y cocinas para el área rural. En el caso del área rural, también se consideran las zonas no electrificadas. Al analizar los resultados del escenario "Demand_p" para el consumo energético en la provincia de Cotopaxi, se observan varias tendencias significativas que destacan la diferencia en la demanda energética entre las zonas urbanas y rurales. En 2022, la demanda energética total en áreas urbanas es de 0.10941 Petajoules (PJ), mientras que en las áreas rurales es significativamente mayor,

alcanzando los 0.36503 PJ. Esta disparidad se mantiene en las proyecciones para 2050, donde las áreas urbanas alcanzan un consumo de 0.30700 PJ, en contraste con los 0.83817 PJ en las áreas rurales. Estas cifras indican un crecimiento continuo en la demanda energética en ambas zonas, aunque la tasa de crecimiento es más pronunciada en las áreas rurales.

La Figura 4 se desglosa este consumo en varias subcategorías, proporcionando una visión detallada de los diferentes usos de energía. En las áreas urbanas, las duchas eléctricas y las cocinas a gas representan una parte importante del consumo, con 0.01663 PJ y 0.09100 PJ en 2022, respectivamente. Para 2050, estos valores aumentan a 0.06133 PJ y 0.21986 PJ, respectivamente. En las áreas rurales, las cocinas utilizando carbón vegetal y las cocinas a gas son las principales fuentes de consumo energético, con 0.02593 PJ y 0.12742 PJ en 2022, aumentando a 0.36889 PJ y 0.37080 PJ en 2050, respectivamente.

Figura 4. Consumo energético de diferentes subcategorías en Cotopaxi.

Branch	2022	2050	Total
Urbano	0,10941	0,30700	0,41641
Area_electrificada	0,10941	0,30700	0,41641
Sistema_ducha	0,01663	0,06133	0,07796
Ducha electrica	0,01663	0,06133	0,07796
Cocina	0,09278	0,24567	0,33845
Cocina eléctrica	0,00178	0,02580	0,02759
Cocina a Gas	0,09100	0,21986	0,31086
Rural	0,36503	0,83817	1,20319
Zona electrificada	0,34810	0,81625	1,16435
Cocina	0,34810	0,81625	1,16435
Cocina utilizando carbon vegetal	0,02593	0,36889	0,39481
Cocina a gas	0,12742	0,37080	0,49822
Cocina_madera	0,19376	0,06850	0,26225
Cocina eléctrica	0,00100	0,00807	0,00907
Zona no electrificada	0,01693	0,02191	0,03884
Cocina #2	0,01693	0,02191	0,03884
Cocina utilizando carbon vegetal	0,00139	0,00630	0,00769
Cocina a gas	0,00307	0,00420	0,00727
Cocina_madera	0,01247	0,01142	0,02388
Total	0,47443	1,14517	1,61960

Fuente: Cristhian Masaquiza

Es importante destacar la diferencia en el consumo entre áreas electrificadas y no electrificadas. En las áreas rurales electrificadas, el consumo total en 2022 es de 0.34810 PJ, creciendo a 0.81625 PJ para 2050. En contraste, las áreas rurales no electrificadas tienen un consumo mucho menor, de 0.01693 PJ en 2022 y 0.02191 PJ en 2050. Esta diferencia resalta la necesidad de mejorar la infraestructura y acceso a la electricidad en estas zonas no electrificadas para equilibrar la demanda y facilitar el desarrollo sostenible. Si tenemos en cuenta el área rural, nos fijamos que el sector comercial presenta un consumo de 0.1846 PJ en 2022. Se

proyecta que el consumo aumentará a 0.7235 PJ en 2050. El total de consumo acumulado es de 0.9081 PJ. Aunque el crecimiento porcentual es alto, este sector sigue representando una proporción menor en el consumo energético total en comparación con la industria. La electricidad representa la mayor parte del consumo energético en Cotopaxi. En 2022, tanto en el escenario de referencia denominado "DEM" como en el segundo escenario denominada "IND", el consumo de electricidad es de aproximadamente 366,467 PJ. Para 2050, este valor aumenta significativamente, alcanzando 665,231 GJ en el escenario DEM y

457,152 PJ en el escenario IND, sumando un total de 1,855,318 PJ. Este notable incremento subraya la creciente dependencia de la electricidad como fuente principal de energía en la región, impulsada por la expansión de la infraestructura eléctrica y el aumento de la electrificación estos datos se los puede observar en la Tabla 2. El consumo de gas natural, aunque modesto, pasa de 0,221 PJ en 2022 a 0,597 PJ en 2050 en el escenario DEM y a 0,594 PJ en el IND, totalizando 1,635 PJ. Este incremento sugiere una diversificación energética hacia fuentes más limpias y eficientes. El carbón bituminoso, por su parte, aumenta de 13,132 PJ en 2022 a 22,864 PJ en 2050 en el DEM y a 18,566 PJ en el IND, sumando 67,696 PJ en total, un estudio similar

fue el de (Zhang & Luo, 2023), que nos relaciona estos factores que hemos hablado en esta investigación. Aunque su rol sigue siendo significativo, su proporción en el mix energético podría disminuir con la adopción de tecnologías más limpias. El uso de madera crece ligeramente de 1,011 PJ en 2022 a 1,687 PJ en 2050 en el DEM, y el carbón vegetal muestra un aumento de 0,027 PJ a 0,375 PJ en el mismo periodo. Estos incrementos reflejan la persistencia del uso de biomasa tradicional, especialmente en áreas rurales. La biomasa, que en 2022 registraba 0,797 PJ en ambos escenarios, aumenta significativamente para 2050, alcanzando 2,214 PJ en el DEM y 1,257 PJ en el IND, sumando un total de 5,066 PJ.

Tabla 2. Datos obtenidos de combustibles para ambos escenarios desde 2022 hasta 2050

Combustible	Esc. DEM 2022 [PJ]	Esc. DEM 2022 [PJ]	Esc. DEM 2050 [PJ]	Esc. DEM 2050 [PJ]	Total
Electricidad	366,4672385	366,4672385	665,2313525	457,1522804	1.855,32
Gas Natural	0,22148703	0,22148703	0,59485972	0,59713602	1,63496978
Carbón Bituminoso	13,1329232	13,1329232	22,86473719	18,56609447	67,69667805
Madera	1,01158869	1,01158869	1,68781916	0,98302694	4,69402347
Carbón	0,02731605	0,02731605	0,37518831	0,02454135	0,45436177
Biomasa	0,79704	0,79704	2,214	1,25749925	5,06557925
Total	381,6575935	381,6575935	692,9679569	478,5805784	1.934,86

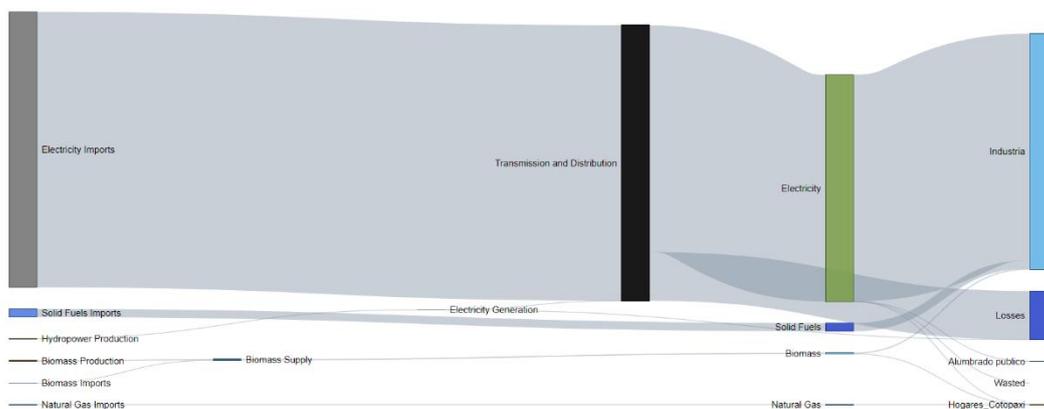
Fuente: Cristhian Masaquiza

Energía futura para Cotopaxi

El acelerado crecimiento de la población, la urbanización y la mejora de los estándares de vida en Cotopaxi prevén un significativo aumento en el consumo de energía en los sectores doméstico e industrial en el futuro. Este incremento impactará directamente el consumo total de energía y el sistema energético desde 2010, como se ilustra en la Figura 5, y se proyecta en dos escenarios adicionales en las Figura 6 y Figura 7. Los diagramas de Sankey detallan los flujos de energía desde la generación hasta el consumo final, cubriendo transmisión y distribución. En la Figura 10 del escenario de referencia "Demand_p", las importaciones de electricidad hacia transmisión y distribución son de

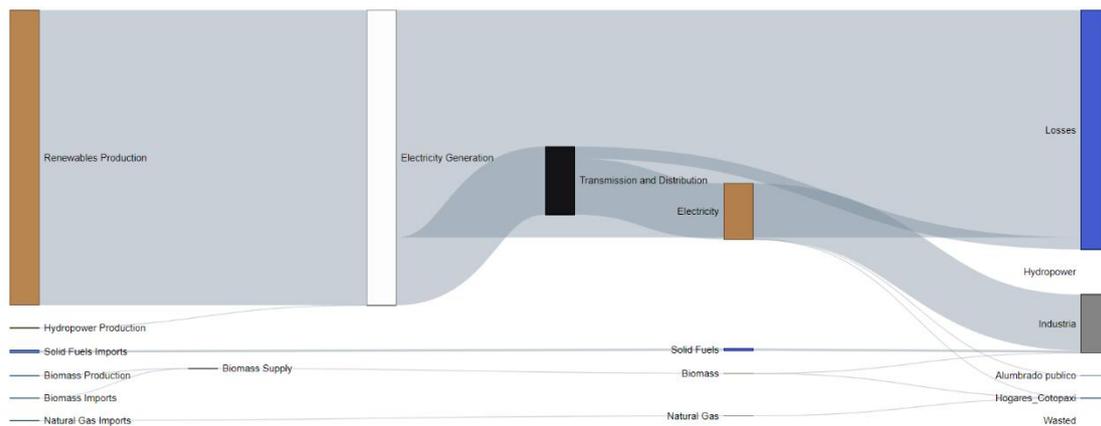
445.1 PJ. De estos, 366.5 PJ se convierten en electricidad, con 366.4 PJ destinados a las industrias, aunque 78.8 PJ se pierden en el proceso. Las importaciones de combustibles sólidos a la industria alcanzan 13.1 PJ, sin cambios en su valor inicial, lo que sugiere un uso eficiente pero limitado de estos combustibles. En la Figura 8, que representa un escenario alternativo en el diagrama de Sankey, se destaca la incorporación de la producción de energía renovable, que aporta 3512.3 PJ a la generación eléctrica. En este escenario, las pérdidas desde la generación son de 2.847 PJ. Desde la generación hacia la transmisión y distribución, se transfieren 808.2 PJ, y la electricidad destinada a la industria se reduce considerablemente a 665.1 PJ.

Figura 5 Diagrama de Sankey de Cotopaxi para el periodo 2022 año base.



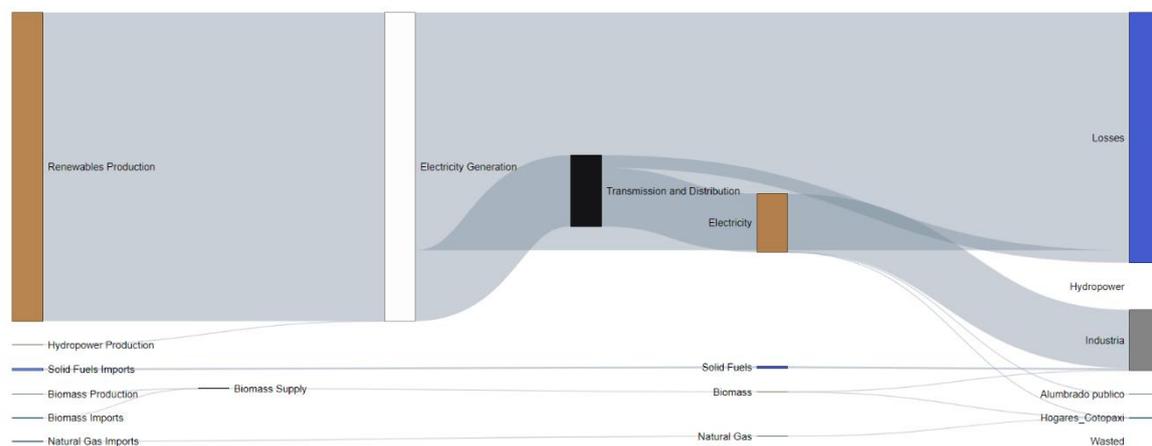
Fuente: Cristhian Masaquiza

Figura 6. Sistema energético de Cotopaxi, escenario Demand_p año 2050.



Fuente: Cristhian Masaquiza.

Figura 7. Sistema energético de Cotopaxi en 2050, según el escenario Industria Eficiente



Fuente: Cristhian Masaquiza

Discusión

La proyección del consumo energético en la provincia de Cotopaxi hasta el año 2050, presentada en este estudio, ofrece una visión integral de los desafíos y oportunidades que enfrenta la región en términos de sostenibilidad y eficiencia energética. Este estudio exploratorio intenta proporcionar una descripción juiciosa de un posible

estado futuro de la situación de la oferta y demanda de electricidad en Cotopaxi (El-Sayed et al., 2023). El análisis detallado de los escenarios de referencia y eficiencia energética, junto con la diferenciación entre áreas urbanas y rurales, proporciona una base sólida para la formulación de políticas energéticas informadas y efectivas. El escenario de referencia (Demand_p) indica un incremento

significativo en el consumo energético, alcanzando los 692.754 PJ en 2050, partiendo de 381.657 PJ en 2022, con una tasa de crecimiento anual del 2%. El análisis diferenciado entre áreas urbanas y rurales destaca importantes disparidades en la demanda energética, reflejando las características socioeconómicas de la provincia, predominantemente agrícola. La economía rural, basada en actividades agrícolas e industrias derivadas, tiende a requerir un consumo energético elevado debido a la necesidad de maquinaria, procesamiento de productos agrícolas y otras actividades intensivas en energía. Esta demanda creciente en áreas rurales contrasta con el menor crecimiento en áreas urbanas, donde la infraestructura energética está más desarrollada y las políticas de eficiencia energética pueden ser implementadas con mayor eficacia. Este escenario, fundamentado en datos históricos y tendencias actuales, subraya la necesidad imperativa de una planificación energética robusta para evitar sobrecargas y asegurar la estabilidad del sistema energético. La tasa de crecimiento proyectada,

aunque precisa según los estudios revisados, plantea importantes retos en términos de infraestructura y recursos. La demanda energética alcanzará su pico antes de 2050 en todos los escenarios para el caso de (Wang, 2020), para nuestro caso se alcanzó en el primer escenario ya que en el segundo se implementa una eficiencia energética. (Emodi et al., 2017) nos habla de que para complementar esto, se deben introducir cocinas de GLP y solares en la mezcla de energía rural y urbana. Por otro lado, el escenario de eficiencia energética revela el impacto transformador de las políticas de eficiencia en la reducción del consumo. Aquí, se proyecta una disminución del consumo energético a una tasa del 2% anual, alcanzando 478.580 PJ en 2050 desde 391.657 PJ en 2022. Este escenario demuestra que la implementación de medidas de eficiencia energética en las industrias puede tener un efecto significativo en la sostenibilidad del sistema energético, reduciendo no solo el consumo total sino también las emisiones asociadas y los costos operativos. La distinción entre las demandas energéticas urbanas y rurales en el escenario "Demand_p"

destaca diferencias cruciales. En 2022, la demanda en áreas rurales era significativamente mayor (76.9%) en comparación con las áreas urbanas (23.1%). Aunque se anticipa un ligero cambio para 2050, con un aumento en la demanda urbana al 26.8% y una reducción en la rural al 73.2%, la disparidad sigue siendo notable. Estos hallazgos sugieren la necesidad de mejorar la infraestructura y el acceso a la electricidad en las áreas rurales, no solo para equilibrar la demanda sino también para promover un desarrollo económico y social más equitativo. El análisis del consumo energético por fuente revela una creciente dependencia de la electricidad, que representa la mayor parte del consumo energético en ambos escenarios.

4. Conclusiones

La utilización del software LEAP permitió modelar el consumo energético en la provincia de Cotopaxi hasta 2050, identificando que, bajo el escenario de eficiencia energética, la demanda energética disminuirá a una tasa anual del 2%, lo que se traduce en una reducción significativa en la proyección de

demanda final. El escenario de referencia indica que el consumo energético podría alcanzar los 478.580 PJ en 2050, destacando la importancia de implementar medidas de eficiencia para mitigar este aumento. El análisis reveló que las importaciones de electricidad hacia los sectores de transmisión y distribución ascienden a 445.1 PJ en el escenario de referencia, de los cuales 366.5 PJ se convierten en electricidad utilizada por las industrias, mientras que 78.8 PJ se pierden durante el proceso. El uso de biomasa, que muestra un incremento considerable en ambos escenarios modelados, alcanzando hasta 2,214 PJ en el escenario DEM para 2050, resalta la continuidad de la biomasa como una fuente clave de energía en áreas rurales. Este aumento refleja una tendencia hacia el uso de fuentes renovables, impulsada por políticas que promueven la biomasa como una alternativa viable y sostenible a los combustibles fósiles. Sin embargo, este incremento también sugiere la necesidad de estrategias que aseguren la sostenibilidad a largo plazo del recurso biomásico. El estudio revela que la demanda energética en la provincia de Cotopaxi está

influenciada significativamente por su economía agrícola, que impulsa un mayor crecimiento en áreas rurales comparado con las urbanas. Este crecimiento diferencial destaca la necesidad de políticas energéticas específicas que aborden las necesidades particulares de las áreas rurales, como la modernización de la infraestructura energética y la promoción de fuentes de energía renovables, como la biomasa, que es clave en estas zonas. Bajo el escenario de eficiencia energética, la proyección indica una reducción de la demanda energética a una tasa anual del 2%, lo que pone de manifiesto el impacto positivo de las políticas de eficiencia y la importancia de su implementación, particularmente en las áreas urbanas. El estudio también sugiere que el desarrollo de infraestructuras energéticas en áreas rurales no solo es necesario para satisfacer la creciente demanda, sino también para promover un desarrollo económico y social equitativo en la provincia. Las políticas que fomentan el uso sostenible de la biomasa y otras fuentes renovables podrían desempeñar un papel crucial en la

mitigación de las emisiones y en el aseguramiento de un suministro energético estable y sostenible a largo plazo.

Bibliografía

- Benito, A. O., & Arena, A. P. (2020). Distribuidos de Energía Eléctrica en Sistemas Energéticos Regionales: análisis con el modelo LEAP. *AJEA*, 5. <https://doi.org/10.33414/ajea.5.696.2020>
- Cai, L., Guo, J., & Zhu, L. (2013). China's Future Power Structure Analysis Based on LEAP. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 35(22), 2113–2122. <https://doi.org/10.1080/15567036.2013.764361>
- David, I., Tamayo, H., Msc, S., Tania, A., & Aguayo, A. M. (n.d.). Challenging inequalities: a socio-cultural analysis of Cotopaxi province. <https://doi.org/10.24133/recihys.v2i1.3487>
- Edgar M. Zapata, & Alvaro S. Mullo Q. (n.d.). PLANIFICACIÓN ÓPTIMA DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS DE UNA MICRO-GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN EL CANTÓN PUCAYACU COMO RED ELÉCTRICA

- ALTERNA. Retrieved July 11, 2024, from <https://editorialalema.org/index.php/pentaciencias/article/view/675/941>
- Fontalvo, J., Ramírez, P., & Constante, J. (2018). Prospectiva de Autogeneración en el Ecuador mediante uso de Modelo LEAP. *Revista Técnica "Energía,"* 15(1). <https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v15.n1.2018.323>
- Guaman, J., & Bravo, S. (2021). PDYOT COTOPAXI. <https://www.cotopaxi.gob.ec/images/Documentos/2021/PDYOT/PDYOT%20COTOPAXI%202021%20-%202025>
- Heaps, C. G. (2022). LEAP: The Low Emissions Analysis Platform. Stockholm Environment Institute.
- Jha, S. K., & Puppala, H. (2017). Prospects of renewable energy sources in India: Prioritization of alternative sources in terms of Energy Index. *Energy*, 127, 116–127. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.03.110>
- Labein Tecnalia. (2007). Guía básica de la generación distribuida.
- Meza Segura, J. N., & Luyo-Kuong, J. (2020). Metodología de Pronóstico de la Demanda Residencial para el Planeamiento Energético de Largo Plazo en el Perú. *TECNIA*, 30(2), 33–45. <https://doi.org/10.21754/tecnia.v30i2.862>
- Mirjat, N. H., Uqaili, M. A., Harijan, K., Walasai, G. Das, Mondal, M. A. H., & Sahin, H. (2018). Long-term electricity demand forecast and supply side scenarios for Pakistan (2015–2050): A LEAP model application for policy analysis. *Energy*, 165, 512–526. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2018.10.012>
- Pazmiño Ordóñez, I., Pico Mera, H., & Abril Chafra, A. (2019). Metodología para proyección de la demanda eléctrica en zonas con un desarrollo cercano a la saturación demográfica. *Revista de Investigaciones En Energía, Medio Ambiente y Tecnología: RIEMAT* ISSN: 2588-0721, 4(1), 52. <https://doi.org/10.33936/riemat.v4i1.1946>
- S E I. (2005). Long-range Energy Alternatives Planning System User Guide for LEAP 2005. <http://forums.seib.org/leap>
- Salazar, G., & Panchi, B. (2014). Análisis de la Evolución de la Demanda Eléctrica en el Ecuador Considerando el Ingreso de Proyectos de Eficiencia Energética. *Revista EPN*, 33.

- Sepulveda, A., Zeghal, M., Kutter, B. L., Manzari, M. T., Abdoun, T., Escoffier, S., Haigh, S. K., Hung, W.-Y., Korre, E., Madabhushi, G. S. P., Manandhar, S., Okamura, M., Tobita, T., Ueda, K., & Zhou, Y.-G. (2024). Correlation of CPT measurements and relative density of LEAP-2017 and LEAP-2020 centrifuge models. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 181, 108639.
<https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2024.108639>
- Sreekanth, K. J. (2016). Review on integrated strategies for energy policy planning and evaluation of GHG mitigation alternatives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 64, 837–850.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.06.086>
- Tastu, J. (2013). Short-term wind power forecasting: probabilistic and space-time aspects. Agencia de regulación y control de energía y recursos no renovables. (2022). SISDATBI.
<https://sisdatbi.controlrecurso.syenergia.gob.ec/index.php>
- Zhang, C., & Luo, H. (2023). Research on carbon emission peak prediction and path of China's public buildings: Scenario analysis based on LEAP model. *Energy and Buildings*, 289, 113053.
<https://doi.org/10.1016/j.enbui.2023.113053>