

DOI: <https://doi.org/10.46296/ig.v9i17.0328>

ANÁLISIS Y PROYECCIÓN DEL BALANCE ENERGÉTICO DEL PERÚ MEDIANTE EL MODELO LEAP

ANALYSIS AND PROJECTION OF PERU'S ENERGY BALANCE USING THE LEAP MODEL

Avila-Toapanta Alex ¹; Caicedo-Vaca Erik ²; Ortiz-Gonzalez Yadyra ³

¹ Universidad Técnica de Cotopaxi. Latacunga, Ecuador. Correo: alex.avila6277@utc.edu.ec.

² Universidad Técnica de Cotopaxi. Latacunga, Ecuador. Correo: erik.caicedo5985@utc.edu.ec.

³ Universidad Técnica de Cotopaxi. Latacunga, Ecuador. Correo: yadyra.ortiz4110@utc.edu.ec.

Resumen

El propósito de esta investigación fue examinar y proyectar el balance energético del Perú a través del modelo LEAP, para poder evaluar cómo ha ido cambiando la demanda de energía y qué consecuencias tiene eso para una planificación sostenible. La expansión industrial y demográfica ha propiciado un aumento sostenido en el consumo energético, lo que genera una presión creciente sobre la oferta y hace que se dependa mucho de los combustibles fósiles. Este es el principal problema detectado. Los resultados indican que, en el escenario de referencia, la demanda nacional crece de 507.243 PJ en 2020 a 907.222 PJ en 2050, con una tasa anual aproximada del 1.96 %. Lo que demuestra la eficacia de las tecnologías eficientes y de la generación distribuida. Los diagramas de Sankey también muestran que el sistema sufre pérdidas constantes entre el 40 % y el 44 %. La implementación de LEAP se ha vuelto una opción técnica sólida para guiar las políticas energéticas, mejorar la infraestructura y fomentar una transición energética sustentable en el Perú.

Palabras clave: Balance energético, proyección energética, sostenibilidad, sistema eléctrico, planificación.

Abstract

The purpose of this research was to examine and project Peru's energy balance using the LEAP model, in order to assess how energy demand has changed and what consequences this has for sustainable planning. Industrial and demographic expansion has led to a sustained increase in energy consumption, generating growing pressure on supply and making the country heavily dependent on fossil fuels. This is the main problem identified. The results indicate that, in the baseline scenario, national demand grows from 507,243 PJ in 2020 to 907,222 PJ in 2050, with an approximate annual growth rate of 1.96%. This demonstrates the effectiveness of efficient technologies and distributed generation. Sankey diagrams also show that the system suffers constant losses between 40% and 44%. The implementation of LEAP has become a solid technical option for guiding energy policies, improving infrastructure, and fostering a sustainable energy transition in Peru.

Keywords: Energy balance, energy projection, sustainability, electrical system, planning.

Información del manuscrito:

Fecha de recepción: 11 de noviembre de 2025.

Fecha de aceptación: 12 de enero de 2026.

Fecha de publicación: 19 de febrero de 2026.



1. Introducción

El análisis del balance energético constituye una herramienta fundamental para comprender la dinámica del consumo, la producción y la eficiencia en el uso de los recursos energéticos de un país [1]. Este proceso permite identificar desequilibrios entre la oferta y la demanda, evaluar la sostenibilidad de las fuentes utilizadas y proyectar escenarios futuros de abastecimiento. La planificación energética se ha vuelto un elemento clave para el desarrollo económico sostenible en un escenario de demanda energética creciente y de compromiso mundial con la reducción del cambio climático [2]. El uso de modelos de simulación y pronóstico, como LEAP, permite una evaluación completa de las tendencias energéticas y las tecnologías.

A escala global, el examen y la proyección del balance energético han cobrado importancia debido a su vínculo directo con las metas de desarrollo sostenible y los compromisos ambientales [3]. Para disminuir la dependencia de los combustibles fósiles, mejorar la

eficiencia energética y elevar el uso de energías renovables, varios países aplican modelos de planificación energética. Organismos como la Organización de las Naciones Unidas y la Agencia Internacional de Energía (AIE) fomentan el empleo de instrumentos de modelado como LEAP para crear tácticas que aseguren la seguridad energética y el logro de objetivos relacionados con el clima [4]. Estos modelos proporcionan una perspectiva prospectiva del sistema energético, teniendo en cuenta factores ambientales, tecnológicos y económicos.

En el contexto de Perú, el balance energético tiene una importancia particular debido a que su matriz está diversificada y que la demanda va en aumento como resultado del desarrollo urbano e industrial [5]. El país cuenta con gas natural, recursos hidroeléctricos y una gran capacidad en fuentes de energía renovables no convencionales. No obstante, se enfrenta a retos relacionados con su vulnerabilidad energética frente a fenómenos climáticos y la dependencia de los combustibles fósiles [6]. El modelo LEAP posibilita la proyección del

balance energético y, a través de esto, se pueden detectar situaciones de transición sostenible y valorar el efecto que tienen las políticas de eficiencia energética y de ampliación de fuentes renovables. De este modo, se colabora en la creación de una estrategia energética a largo plazo.

Mediante este estudio se pretende examinar la situación del sistema energético que presenta Perú en la actualidad y crear escenarios prospectivos que ayuden a tomar decisiones estratégicas relacionadas con la sostenibilidad y la planificación [7]. Se estudian las tendencias de consumo, oferta y emisiones mediante el uso del software LEAP, que incluye factores económicos, tecnológicos y medioambientales [8]. Este método posibilitará la detección de las opciones más factibles para lograr un equilibrio energético sustentable, promoviendo así la diversificación de fuentes y la eficiencia. Al final, la investigación pretende ofrecer un instrumento técnico que ayude a consolidar la política energética nacional y a pasar hacia un desarrollo sostenible.

2. Metodología

Modelo

LEAP (Plataforma de Análisis de Bajas Emisiones), un instrumento creado por el Instituto de Medio Ambiente de Estocolmo, es una herramienta aclamada globalmente que se utiliza para examinar políticas energéticas y tácticas para mitigar el cambio climático. LEAP se emplea en escalas que oscilan entre las ciudades y aplicaciones de alcance mundial, y ha sido adoptada por gobiernos, universidades, organizaciones no gubernamentales y compañías energéticas en más de 190 naciones [9].

En el modelo LEAP sobresale por tener una estructura de datos versátil que combina la facilidad de uso con un alto grado de detalle técnico para los usuarios finales. Se ha puesto en práctica ampliamente por varias entidades a nivel local, nacional e internacional para anticipar la oferta y la demanda energética, prever el impacto ambiental de las políticas energéticas e identificar potenciales obstáculos futuros [10]. Se emplea en todo el mundo para medir las emisiones de gases de efecto invernadero y el consumo energético

en varios sectores fundamentales: los rurales, los urbanos y los industriales. Para examinar la eficacia energética y el impacto ambiental en estos aspectos esenciales de las actividades humanas, esta herramienta ha probado ser útil.

Investigaciones previas, como la desarrollada por [11], han abordado la simulación y evaluación de diferentes enfoques de políticas de planificación eléctrica en China para el período 2010–2050, permitiendo analizar trayectorias tecnológicas y estructurales del sistema energético a largo plazo. En una línea similar, el trabajo de [12] empleó modelos energéticos avanzados para comparar alternativas de desarrollo del sector eléctrico, considerando una línea base, una opción con énfasis en la captura y almacenamiento de carbono (CCS) y otra orientada al fortalecimiento de la energía nuclear como eje de descarbonización. De manera análoga, [13] analizaron la evolución de la oferta y la demanda eléctrica en Pakistán entre 2015 y 2050, incorporando enfoques basados en eficiencia energética, energías renovables, uso intensivo de carbón

limpio y una proyección tendencial del sistema eléctrico.

Consolidación de información

Este estudio emplea un método cuantitativo y descriptivo que se fundamenta en la recolección y el análisis de datos secundarios obtenidos de fuentes oficiales. La fuente de datos principal fue Sistema de Información Energética (SIE) del Ministerio de Energía y Minas (MINEM), que se erige como un depósito completo de datos sobre la producción, transmisión, distribución y consumo de electricidad en Perú, incluyendo series estadísticas históricas de las plantas eléctricas separadas por región [14]. La disponibilidad, la calidad y la consistencia de los datos oficiales son factores que determinan el desarrollo de modelos de proyección energética. La disponibilidad, la calidad y la consistencia de los datos oficiales son factores que determinan el desarrollo de modelos de proyección energética [15]. Además, la transformación estructural de la economía y el aumento de la población rural tienen un impacto indirecto en cómo evoluciona la demanda energética a futuro, ya que afectan los patrones

de consumo y planificación del sistema eléctrico [16]

Para lograr un enfoque más técnico y preciso, se utilizó el Sistema de Información Energética (SIE) administrado por el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) del Perú, el cual proporciona datos oficiales y consolidados del sector eléctrico nacional [17]. Para definir proyecciones fiables, la recopilación de datos abarcó información económica y poblacional. Después, se analizó el consumo de energía en diversos sectores (industrial, transporte y residencial), anticipando requerimientos futuros con base en las tendencias económicas y demográficas [18]. Al emplear el modelo LEAP, se pueden incorporar datos complicados y multidimensionales de manera lógica, lo que ayuda a producir estimaciones exactas de la demanda energética [19]. Estas estimaciones

son cruciales para la formulación de políticas energéticas sostenibles, la evaluación de opciones tecnológicas y la planificación y ampliación correctas de la infraestructura eléctrica. De esta manera se garantiza que las decisiones se toman con información y basándose en criterios técnicos, en la Tabla 1, presenta los datos concretos que se emplearon para la proyección, los cuales fueron ingresados en LEAP, otorgando así una base firme para el desarrollo de la investigación, que muestra indicadores clave como un tamaño medio de hogar de 5 personas, una tasa de crecimiento poblacional del 2.5%, una tasa de ingresos del 3.5% y un PIB base aproximado de \$120 mil millones. También incluye el objetivo establecido para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en 60 millones de toneladas CO₂e.

Tabla 1. Datos y Variables utilizadas

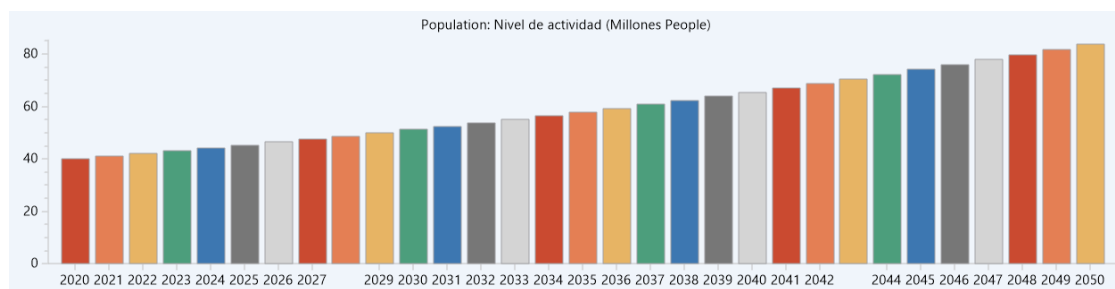
Rama	Valor	Expresión del escenario de mitigación	Escala	Unidades
Ingresos	3.0	Crecimiento (Tasa de crecimiento de los ingresos [%]/100)	Miles	Dólares
Población	40.0	Hogares [Millones Hogares]*Tamaño del hogar[Personas]	Millones	Gente
Tamaño del hogar	5.0	5		Gente
Hogares	8.0	Crecimiento (tasa de crecimiento demográfico [%]/100)	Millones	Hogares

GDP	120.0	Población [Millones de Personas]*Ingresos [Miles Dolares] Definición calculada del año base	Mil millones	US \$
Tasa de crecimiento de los ingresos	3.5	3.5		%
Tasa de crecimiento de la población	2.5	2.5		%
Urbanización al final del año	45.0	45		%
Nivel objetivo de mitigación de Gases de Efecto Invernadero (GEI)	60.0	60	Millones	Toneladas CO ₂ e

La Figura 1, presenta el escenario de modelado LEAP del periodo 2020 a 2050, donde se permitió estimar la proyección poblacional a largo plazo. La representación gráfica evidencia un incremento sostenido en el número de habitantes, que pasa de aproximadamente 40 millones en 2020 a valores superiores a 75

millones hacia el intervalo 2045 y 2050. Este comportamiento refleja una expansión progresiva asociada al aumento de ingresos, consumo y actividad productiva, influyendo directamente en las demandas energéticas y ambientales, lo cual resulta clave para evaluar políticas de planificación, sostenibilidad y mitigación futura integral.

Figura 1. Proyección de LEAP de 2020 a 2050



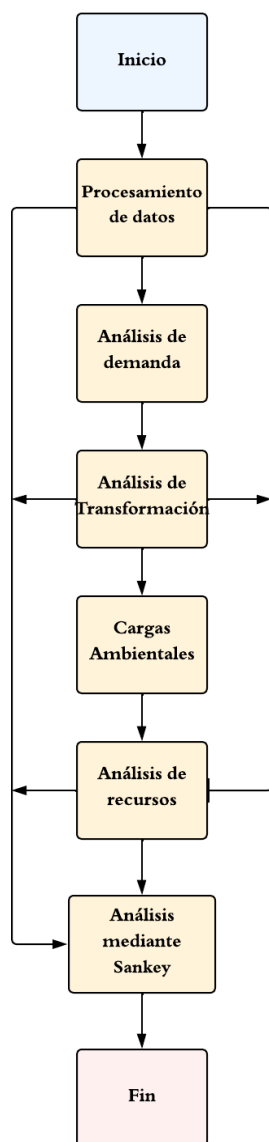
Gestión de datos en LEAP

Se empleó este software para crear un modelo del consumo de energía

en Perú. En la cual los cálculos constituidos de LEAP permite integrar cálculos energéticos y de emisiones, permitiendo análisis

técnicos consistentes que respaldan la planificación, evaluación y formulación de políticas energéticas sostenibles [20]. La estructura de cálculo de LEAP se representa en la Figura 2, que ofrece un ambiente completo para el simulador.

Figura 2. Proceso de gestión de datos del programa LEAP [21]



El estudio realizado en [22], proyecta la demanda eléctrica y opciones de abastecimiento en Pakistán entre 2015 y 2050 mediante LEAP, aportando insumos técnicos para orientar decisiones estratégicas del sistema energético nacional. En esta investigación, el programa LEAP, fue el software empleado para procesar y analizar los datos que posibilita la realización de cálculos minuciosos de la demanda energética mediante un análisis de actividad final.

En estas circunstancias, la demanda de energía se estima multiplicando el nivel total de actividad por la intensidad energética en cada sector tecnológico [23]. La Ecuación 1 estima la demanda energética (D) como producto del nivel total de actividad (TA) y la intensidad energética (EI). El subíndice de rama tecnológica (b), el sector económico (s) y el periodo temporal (t), permitieron el análisis comparativos y prospectivos robustos. Su cálculo se hace automáticamente y garantiza que las proyecciones energéticas sean precisas y consistentes de la siguiente manera.

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

Un cambio en la Ecuación 2 se representa la demanda energética estimada (D); donde (b) identifica la rama tecnológica o subsector analizado, mientras (0) indica el año base de referencia temporal.

$$D_{b,0} = TA_{b,0} \times EI_{b,0} \quad (2)$$

Cada sector tecnológico tiene una demanda energética que está vinculada con un tipo de combustible en particular. LEAP suma las demandas de todas las ramas tecnológicas para calcular la demanda total de energía final para cada tipo de combustible. La Ecuación 3 muestra el que el nivel total de actividad energética (TA), sector económico (s) y el periodo temporal (t); en la ecuación se demuestra el nivel total de actividad de una tecnología se obtiene multiplicando los niveles de actividad en todas las ramas, desde la tecnología hasta la demanda inicial.

$$TA_{b,s,t} = Ab_{s,t} \times Ab_{s,t'} \times Ab_{s,t''} \times \dots \quad (3)$$

Las ramas que no contienen datos y la rama "Demanda" se presentan un índice de actividad de valor 1. La Ecuación 4 se utiliza para calcular la energía consumida (EC); el nivel agregado (n), la categoría tecnológica (j), y unidad operativa o subactividad analizada (i)

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

En donde AL es el nivel de actividad, que representa una medida de la actividad social o económica para la cual se utiliza energía, y EC es el consumo total de energía en un sector específico. AL se calcula cada año como una escala de toneladas para la industria o de unidades por hogar. Las intensidades energéticas finales para la categoría con un tipo de rama de intensidad energética agregada, así como las cuotas de combustible y eficiencias para cada rama tecnológica, se detallan en las Cuentas Corrientes. La Ecuación 5 representa el uso energético estimado (UE); identificando cada rama tecnológica (b), el año base correspondiente (0), y el agregado energético global (AG).

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

La ecuación 6 describe que la intensidad útil de la rama de intensidad energética (UE) que es igual a la suma de las intensidades útiles de cada rama tecnológica donde (B) indica número total de ramas, (ACG) el agregado energético, (b) la rama tecnológica, y (0) el año base considerado en análisis.

$$UE_{ACG,0} = \sum_{b=1}^B UE_{b,0} \quad (6)$$

La cuota de actividad, que se refiere a la cuota del número de tecnologías y no a la cuota de combustible, es igual al producto de la eficiencia de cada tecnología (b) y la cuota de combustible. Esto se expresa en la Ecuación 7.

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

Donde AS representa la tasa de actividad.

$EL_{AG,0}$ es la intensidad energética final en la rama de intensidad energética agregada; UE es la intensidad energética útil de una rama tecnológica b; FS es su cuota de combustible y EFF es su eficiencia. La letra b representa a una de las ramas tecnológicas del número total de ramas (B). Por ejemplo, si se tiene en cuenta una rama con una intensidad final de 100 GJ por actividad y dos tecnologías que tienen el 50% cada una de combustible, además de una tecnología que tiene un rendimiento del 100% (electricidad) y otra con el 70% (gas natural), las intensidades útiles serían, respectivamente, 50 GJ/actividad y 35 GJ/actividad. Una participación del gas natural con el

41% y la electricidad, del 59%. Para la planificación energética y la optimización de recursos en el marco del estudio, es crucial tener una visión más precisa del consumo real de energía y de la eficacia de las tecnologías. Esta evaluación de la demanda de energía útil brinda esa visión.

3. Resultados y discusión

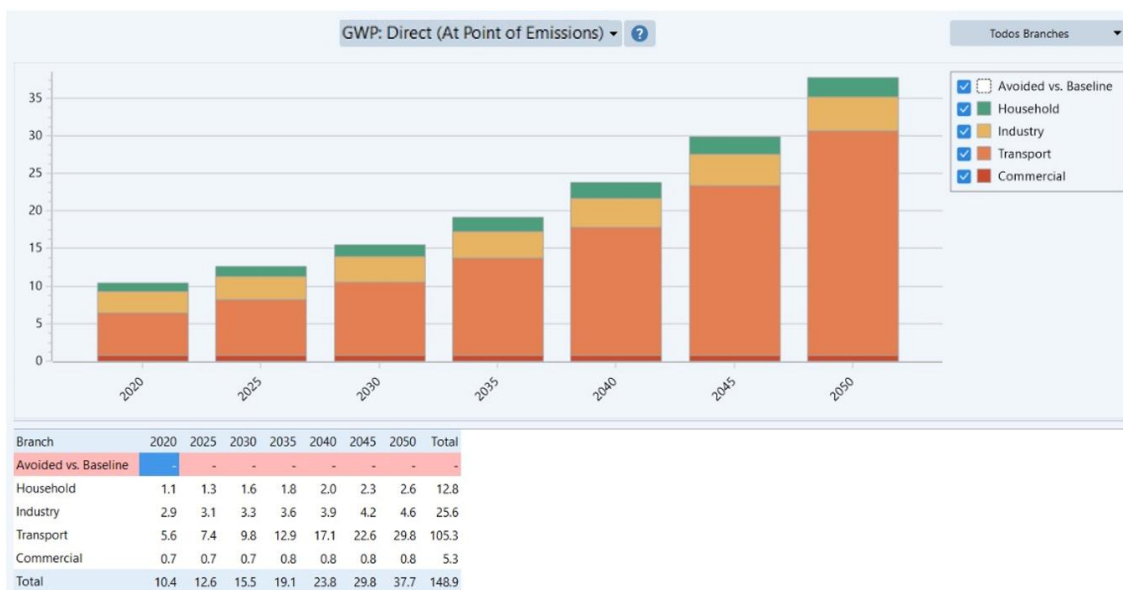
Crecimiento sostenido de la demanda energética

En términos generales, la proyección desarrollada en el software LEAP sobre el consumo de energía en el Perú aumentará de manera sostenida hasta el año 2050, aunque con tasas de crecimiento diferenciadas. Los valores de consumo total de energía obtenidos mediante el modelo LEAP para el ámbito nacional se presentan en la Figura 3 que muestra cómo han cambiado a lo largo del tiempo el potencial de calentamiento global (GWP), dando emisiones directas de gases de efecto invernadero relacionadas con el consumo final de energía, desglosadas por sectores y analizadas para la franja temporal entre 2020 y 2050. La tendencia de

las emisiones totales muestra un incremento continuo: suben desde unas 10,4 unidades en 2020 hasta cerca de 37,7 unidades en 2050. Esto equivale a un incremento acumulado que supera el 2.60 %. Durante todo el marco temporal examinado, el sector industrial es el que más contribuye. Desde 3,1 en 2020 hasta 25,6 en 2050, la participación de este sector aumenta y, al final del período analizado, concentra más del 65% del total. Con cifras que aumentan de 5,6 a 10,5, el sector del transporte ocupa la segunda posición, lo que demuestra una presión permanente sobre el equilibrio medioambiental. En cuanto al sector residencial, este

experimenta un crecimiento moderado, de 1,1 a 2,6; en cambio, el sector comercial conserva la menor aportación relativa, con cifras que van desde 0,7 hasta 5,3. La comparación acumulada muestra que las emisiones evitadas en relación con el escenario base llegan a 148,9 unidades, lo cual evidencia la importancia de llevar a cabo intervenciones sectoriales diferenciadas. En general, el gráfico enfatiza la sensibilidad elevada del sistema de energía a los cambios en la industria y la importancia de implementar estrategias estructurales que busquen reducir gradualmente las emisiones en escenarios a largo plazo.

Figura 2. Pronóstico del consumo de energía en los diversos sectores



Este enfoque sectorial posibilita una valoración más precisa y minuciosa

de las posibilidades de optimización en un sector clave para el

crecimiento económico peruano, acorde con lo establecido por el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) para robustecer la competitividad y sostenibilidad nacional y también con las políticas nacionales de planificación energética.

La Tabla 2 muestra que la infraestructura eléctrica se ha expandido y que la electrificación ha aumentado, lo cual ha llevado a una dependencia cada vez mayor de la electricidad como fuente de energía principal en la región. La investigación de [24], realizada en Punta Arenas, Chile, analiza situaciones con varias tecnologías renovables para disminuir emisiones y gastos. Dicha investigación se ajusta a la realidad en Perú, por esta razón, se implementó el modelo LEAP proyectándolo hacia un análisis al balance energético del

país con predicciones sectoriales de largo plazo que contrastan metodologías y estrategias. En el escenario de referencia (DEM), el uso de gas natural, aunque modesto, crece de 0,332 PJ en 2020 a 0,628 PJ en 2050. Este aumento indica una mayor participación del gas natural como fuente de respaldo dentro de la matriz energética. El carbón bituminoso, en tanto, se eleva de 24,243 PJ en 2020 a 29,677 PJ en 2050 en DEM. La cantidad de madera utilizada aumenta poco a poco de 2,122 PJ en 2020 a 2,798 PJ en 2050; mientras tanto, el carbón vegetal pasa de 1,138 PJ a 1,486 PJ durante ese mismo lapso. Estos aumentos son un reflejo de la continuidad del empleo de biomasa tradicional, sobre todo en zonas rurales. La biomasa, que en 2020 era de 1,828 PJ, crecerá considerablemente hasta los 2,368 PJ para el año 2050 en el DEM.

Tabla 2. Datos de consumo por combustible entre 2020 y 2050

Combustible	Esc. DEM 2020 [PJ]	Esc. DEM 2030 [PJ]	Esc. DEM 2040 [PJ]	Esc. DEM 2050 [PJ]
Electricidad	477.5783496	577.4682496	776.3424636	868.2633915
Gas Natural	0.33259811	0.33259814	0.61596183	0.62824713
Carbón Bituminoso	24.2432343	24.2432343	33.97584822	29.67712558

Madera	2.1227	2.12269972	1.29413715	2.79892127
Carbón	1.13842716	1.13842716	1.13565246	1.48629942
Biomasa	1.82815	1.82815	3.325	4.36852236
Total	507.2434592	607.1333589	816.6890633	907.2225073

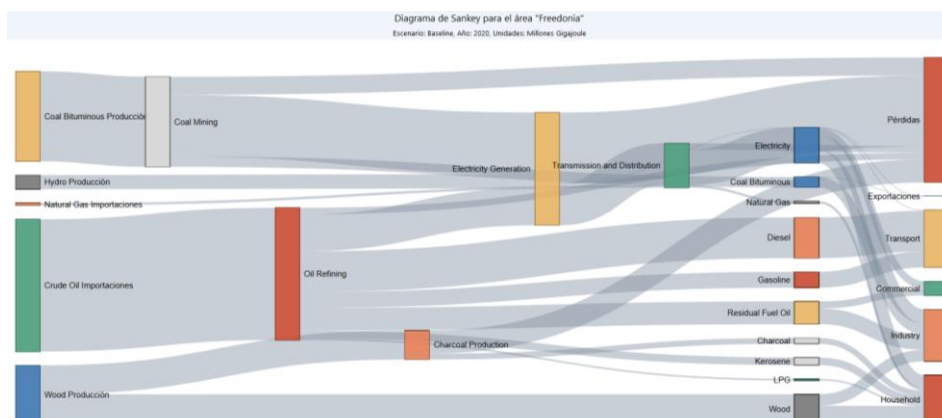
Proyección energética para Perú

El consumo de energía de los sectores doméstico e industrial en Perú se estiman que aumente considerablemente en el futuro debido a la acelerada urbanización, al crecimiento demográfico y a la mejora de las condiciones de vida. Este aumento afectará directamente tanto al consumo global de energía como al sistema energético desde el 2020, lo cual se evidencia en los diagramas Sankey que permiten visualizar los flujos energéticos proporcionales respaldando así el análisis para una planificación estratégica sostenible.

La Figura 4 muestra el diagrama Sankey, en términos cuantitativos, los flujos energéticos del módulo de transformación para la producción de electricidad en el año 2020; esto facilita la identificación precisa de las conexiones entre fuentes primarias,

procesos de conversión y salidas finales del sistema. El análisis muestra una fuerte dependencia de los recursos fósiles, con el fuelóleo pesado aportando cerca del 35% de la energía total procesada, seguido por el carbón sub-bituminoso con alrededor del 30% y el gas natural con cerca del 25%. En conjunto, estos tres elementos representan el 90% de las entradas. Por otro lado, las fuentes hidráulicas y las renovables no convencionales (como la eólica y la solar) tienen una participación del 10%, lo que indica una escasa variedad en la matriz. Esto reduce de manera importante la eficacia global, estableciendo una efectividad en la transición hacia las proyecciones futuras.

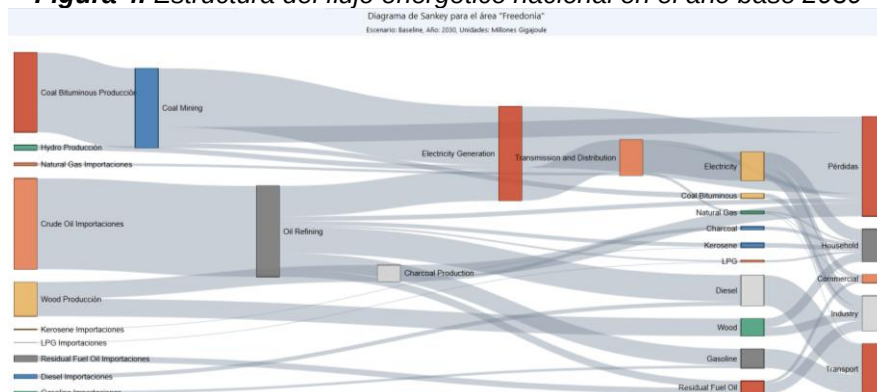
Figura 3. Estructura del flujo energético nacional en el año base 2020



El módulo de transformación para la producción de electricidad en 2030, que incluye las entradas primarias, los procesos intermedios y las salidas finales del sistema, ilustrados en la Figura 5. El análisis muestra que la matriz está dominada por combustibles fósiles: el fuelóleo pesado representa alrededor del 32% de lo procesado en total, el carbón sub-bituminoso contribuye con alrededor del 28% y el gas natural tiene una participación constante de aproximadamente el 25%, sumando el 85% de los insumos energéticos. Por el

contrario, las fuentes hidráulicas y renovables no convencionales, como la solar y la eólica, tienen una contribución total del 15%, lo que restringe la diversificación estructural. Desde el enfoque del rendimiento, el gráfico muestra pérdidas sistémicas importantes, que rondan el 42 % del flujo total y están relacionadas con la ineficiencia en la distribución y conversión. Aproximadamente el 53 % se convierte en electricidad útil, pero solamente el 5% se desvía para otros usos energéticos. Esta proyección abre paso a escenarios de los futuros años en la Figura 6.

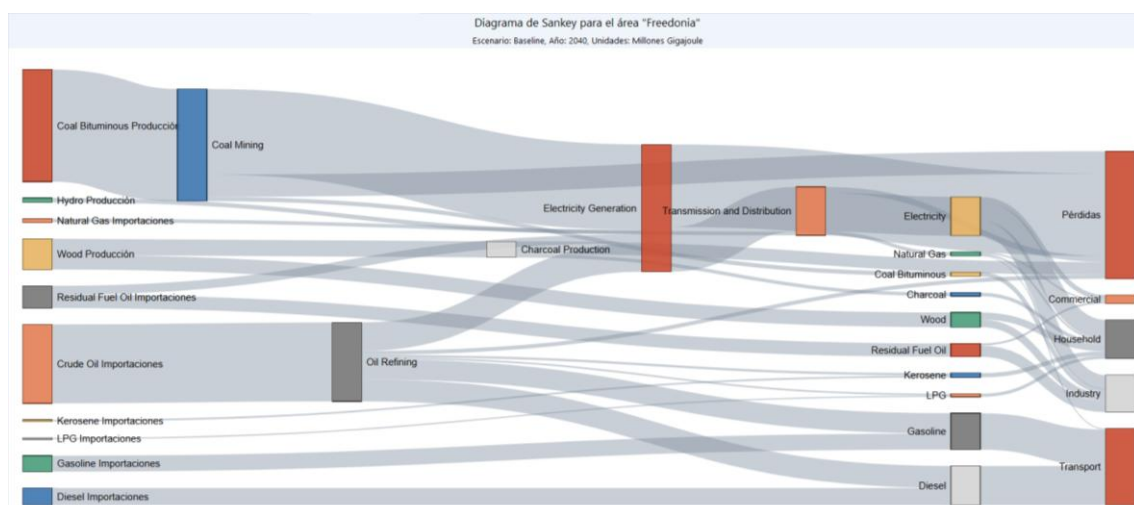
Figura 4. Estructura del flujo energético nacional en el año base 2030



La Figura 6 presenta a la generación de electricidad en el año 2040. En este, se muestran de modo integrado y cuantitativo los flujos de energía desde las fuentes primarias hasta los procesos intermedios y las salidas finales del sistema eléctrico. El análisis muestra que el fuelóleo pesado sigue siendo uno de los insumos más importantes, con alrededor del 30% del total energético procesado. Luego está el carbón sub-bituminoso, que contribuye cerca del 27%, manteniendo un papel estructural significativo en la matriz. Aproximadamente el 24 % corresponde al gas natural, lo que representa una leve reducción en

comparación con escenarios previos, aunque mantiene una presencia notable. En cambio, las fuentes hidráulicas y renovables no convencionales, que incluyen la energía solar y eólica, tienen una participación total del 19 %, lo cual muestra un escaso avance tecnológico. En términos de eficiencia global, el 43 % del flujo total se pierde en pérdidas del sistema, el 52 % se convierte en electricidad utilizable y el 5 % se destina a otros usos energéticos, lo que muestra las limitaciones de efectividad del escenario proyectado. Su análisis antecede a la proyección final presentada en la Figura 7.

Figura 5. Estructura del flujo energético nacional en el año base 2040



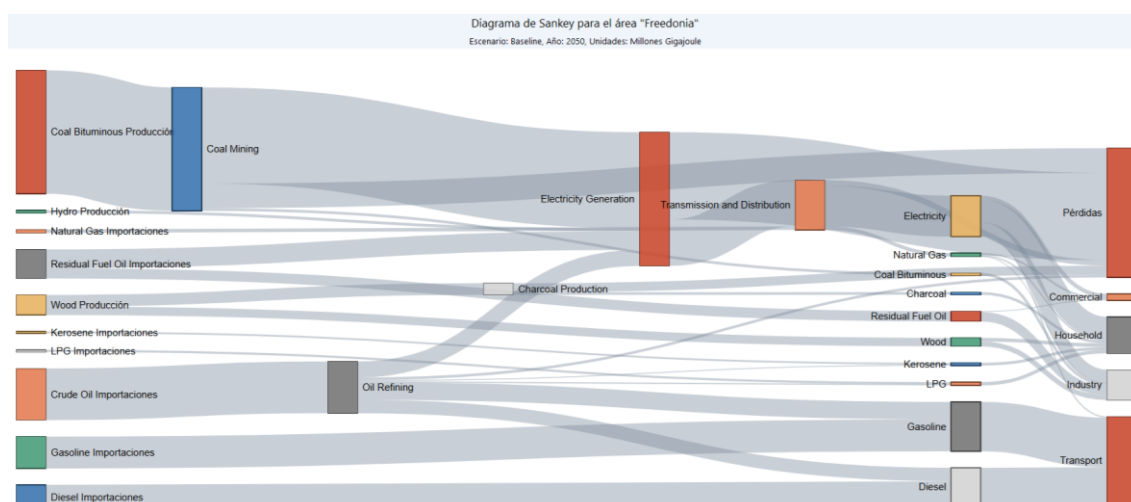
El diagrama expuesto en la Figura 7 es el de la producción eléctrica para el año 2050. En él se ilustran, de

forma cuantitativa e integrada, los flujos energéticos desde las fuentes primarias mediante los procesos de

transformación hasta que llegan a las salidas finales del sistema eléctrico. El estudio muestra que el fuelóleo pesado sigue teniendo un rol preponderante, con una aportación cercana al 28 % del total de energía procesada. Después está el carbón sub-bituminoso, que representa alrededor del 26 %, lo cual confirma su constante importancia en términos estructurales. El gas natural contribuye con aproximadamente el 22%, lo que muestra una tendencia

a la baja consistente con situaciones de transición gradual. Por el contrario, las fuentes hidroeléctricas y las renovables no convencionales, que incluyen la solar y la eólica, tienen una participación total del 24%, lo que muestra un bajo nivel de penetración tecnológica. El sistema tiene una eficiencia proyectada de aproximadamente el 44 % en pérdidas, el 51 % en electricidad útil y el 5 % restante se utiliza para otros fines energéticos.

Figura 6. Estructura del flujo energético nacional en el año base 2050



4. Conclusiones

En el enfoque metodológico, la investigación ratifica la solidez del modelo LEAP como un recurso integral para la planificación energética a largo plazo. Esto es porque facilita que se integren de manera coherente datos

energéticos, económicos y demográficos que provienen de fuentes oficiales como el SIE del MINEM, OSINERGMIN y COES-SEIN. El cálculo de la demanda energética a través de la vinculación entre el nivel de actividad y la intensidad energética asegura que los cálculos sean transparentes y

que haya coherencia contable. Además, LEAP tiene la habilidad de modelar situaciones alternativas, analizando emisiones sin controversias. Esto brinda un marco técnico robusto para tomar decisiones estratégicas y sitúa este estudio como un referente que puede ser aplicado en otros contextos nacionales con rasgos energéticos parecidos.

Los hallazgos de la proyección del balance energético nacional muestran que en Perú la demanda total de energía seguirá aumentando hasta el 2050. En el escenario de referencia, el consumo de energía sube desde unos 507.24 PJ en 2020 hasta cerca de 907.22 PJ en 2050, lo que equivale a una tasa de crecimiento anual próxima al 1.96 %. Este aumento es mayormente impulsado por la expansión industrial y el incremento de la población. Lo cual demuestra que la inclusión de tecnologías eficientes y generación distribuida, por ejemplo, los sistemas fotovoltaicos es una táctica eficaz para optimizar el balance energético del país y disminuir las presiones sobre la oferta futura.

La matriz energética de Perú continúa dependiendo en gran

medida de los combustibles fósiles, sobre todo el carbón sub-bituminoso, el fuelóleo pesado y el gas natural, a pesar de que su participación relativa ha ido cambiando poco a poco durante todos los años del horizonte de proyección (2020-2050). Los diagramas de Sankey muestran que durante el período estudiado, las pérdidas en el sistema eléctrico se mantienen altas, oscilando entre el 40 % y el 44 % del flujo total de energía. Por otro lado, la energía útil que se transforma en electricidad fluctúa entre el 51 % y el 55 %. Estos resultados muestran que la eficacia de la transformación y transmisión sigue siendo limitada, lo cual resalta la importancia de implementar políticas enfocadas en disminuir las pérdidas técnicas y no técnicas y en modernizar la infraestructura.

Los resultados de la investigación tienen un impacto significativo en el diseño de políticas públicas sobre energía en Perú, ya que demuestran que la eficiencia energética y la diversificación tecnológica son factores esenciales para la sostenibilidad del sistema. Aunque se espera que la demanda crezca, el escaso aporte de fuentes renovables no convencionales de los escenarios

analizados es menor al 10 %, muestra una gran oportunidad de mejora para progresar hacia una transición energética más limpia. En esta línea, el trabajo proporciona datos cuantitativos que respaldan la necesidad de reforzar los incentivos regulatorios, invertir en energías renovables y planificar de manera integrada. En general, la investigación aporta de manera importante a la discusión técnica y académica acerca de la sostenibilidad, eficiencia y seguridad energética en economías emergentes.

Bibliografía

- [1] I. Perissi *et al.*, "Cross-Validation of the MEDEAS Energy-Economy-Environment Model with the Integrated MARKAL-EFOM System (TIMES) and the Long-Range Energy Alternatives Planning System (LEAP)," *Sustainability*, vol. 13, no. 4, p. 1967, Feb. 2021, doi: 10.3390/su13041967.
- [2] X. He, J. Huang, N. Wu, J. Lin, and Y. Zhao, "Renewable Energy Development Planning Combining LEAP Simulation and Techno-Economic Optimization," Feb. 24, 2023. doi: 10.46855/energy-proceedings-10429.
- [3] H. Ibrahim and G. Kirkil, "Electricity Demand and Supply Scenario Analysis for Nigeria Using Long Range Energy Alternatives Planning (LEAP)," *J. Sci. Res. Rep.*, vol. 19, no. 2, pp. 1–12, May 2018, doi: 10.9734/JSRR/2018/39719.
- [4] Y. Yang, H. Wang, A. Löschel, and P. Zhou, "Energy transition toward carbon-neutrality in China: Pathways, implications and uncertainties," *Frontiers of Engineering Management*, vol. 9, no. 3, pp. 358–372, Sep. 2022, doi: 10.1007/s42524-022-0202-8.
- [5] D. G. De la Cruz Torres, L. F. Mazadiego, D. Bolonio, and R. R. Pons-Esparver, "Long-Term Forecast of Energy Demand towards a Sustainable Future in Renewable Energies Focused on Geothermal Energy in Peru (2020–2050): A LEAP Model Application," *Sustainability*, vol. 16, no. 12, p. 4964, Jun. 2024, doi: 10.3390/su16124964.
- [6] P. Lillo, L. Ferrer-Martí, and M. Juanpera, "Strengthening the sustainability of rural electrification projects: Renewable energy, management models and energy transitions in Peru,

- Ecuador and Bolivia,” *Energy Res. Soc. Sci.*, vol. 80, p. 102222, Oct. 2021, doi: 10.1016/j.erss.2021.102222.
- [7] L. D. C. Suárez Santa Cruz, V. H. Puican Rodriguez, D. I. Ferré López, and J. J. Inoñan Olivera, “Electricity Industry Strategies in Ecuador and Peru: Their Impacts on Energy Efficiency and Prices,” *International Journal of Energy Economics and Policy*, vol. 14, no. 5, pp. 464–478, Sep. 2024, doi: 10.32479/ijeep.16713.
- [8] R. Acuña-Ascencio, E. Carhuamaca-Coronel, and B. Mougenot, “Incidence of Energy Consumption, Mining Sector and Economic Growth on CO2 Emission Levels: Evidence from Peru,” *International Journal of Energy Economics and Policy*, vol. 14, no. 1, pp. 6–11, Jan. 2024, doi: 10.32479/ijeep.14786.
- [9] M. McPherson and B. Karney, “Long-term scenario alternatives and their implications: LEAP model application of Panama’s electricity sector,” *Energy Policy*, vol. 68, pp. 146–157, May 2014, doi: 10.1016/j.enpol.2014.01.028.
- [10] S. T. Bahta, M. G. Gebreslassie, and A. H. Mebrahtu, “Projecting Ethiopia’s energy future to 2060: scenario analysis of demand, electrification, and GHG emissions using the LEAP model,” *Sustainable Energy Research*, vol. 12, no. 1, p. 60, Oct. 2025, doi: 10.1186/s40807-025-00211-w.
- [11] L. Cai, J. Guo, and L. Zhu, “China’s Future Power Structure Analysis Based on LEAP,” *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, vol. 35, no. 22, pp. 2113–2122, Nov. 2013, doi: 10.1080/15567036.2013.764361.
- [12] A. Sepulveda et al., “Correlation of CPT measurements and relative density of LEAP-2017 and LEAP-2020 centrifuge models,” *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 181, p. 108639, Jun. 2024, doi: 10.1016/j.soildyn.2024.108639.
- [13] N. H. Mirjat, M. A. Uqaili, K. Harijan, G. Das Walasai, M. A. H. Mondal, and H. Sahin, “Long-term electricity demand forecast and supply side scenarios for Pakistan (2015–2050): A LEAP model application for policy analysis,” *Energy*, vol. 165, pp. 512–526, Dec. 2018, doi: 10.1016/j.energy.2018.10.012.

- [14] R. Akpahou, L. D. Mensah, D. A. Quansah, and F. Kemausuor, "Energy planning and modeling tools for sustainable development: A systematic literature review," *Energy Reports*, vol. 11, pp. 830–845, Jun. 2024, doi: 10.1016/j.egyr.2023.11.043.
- [15] H. Fiestas-Chevez, J. M. Roldan-Fernandez, A. L. Trigo-Garcia, and M. Burgos-Payan, "Impact of renewables on the Peruvian electricity system," *J. Clean. Prod.*, vol. 471, p. 143389, Sep. 2024, doi: 10.1016/j.jclepro.2024.143389.
- [16] R. Makarewicz and R. Gołbiewski, "The Influence of a low level jet on the thumps generated by a wind turbine," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 104, pp. 337–342, Apr. 2019, doi: 10.1016/j.rser.2019.01.022.
- [17] D. G. De la Cruz Torres, L. F. Mazadiego, D. Bolonio, and R. R. Pons-Esparver, "Long-Term Forecast of Energy Demand towards a Sustainable Future in Renewable Energies Focused on Geothermal Energy in Peru (2020–2050): A LEAP Model Application," *Sustainability*, vol. 16, no. 12, p. 4964, Jun. 2024, doi: 10.3390/su16124964.
- [18] L. D. C. Suárez Santa Cruz, V. H. Puican Rodriguez, D. I. Ferré López, and J. J. Inoñan Olivera, "Electricity Industry Strategies in Ecuador and Peru: Their Impacts on Energy Efficiency and Prices," *International Journal of Energy Economics and Policy*, vol. 14, no. 5, pp. 464–478, Sep. 2024, doi: 10.32479/ijee.16713.
- [19] N. H. Mirjat, M. A. Uqaili, K. Harijan, G. Das Walasai, M. A. H. Mondal, and H. Sahin, "Long-term electricity demand forecast and supply side scenarios for Pakistan (2015–2050): A LEAP model application for policy analysis," *Energy*, vol. 165, pp. 512–526, Dec. 2018, doi: 10.1016/j.energy.2018.10.012.
- [20] R. Chen, R. Zhenghua, L. Jixiong, C. Yingying, and L. Shengming, "Investigación sobre pronóstico de la demanda de energía y contramedidas en la ciudad de Changsha basada en el modelo LEAP," *Resource Science*, vol. 39, no. 3, pp. 482–489, 2017, doi: 10.18402/resci.2017.03.10.
- [21] R. Chen, Z. Rao, and S. Liao, "Hybrid LEAP modeling method for long-term energy demand forecasting of regions with limited statistical data," *J. Cent. South Univ.*, vol. 26, no.

- 8, pp. 2136–2148, Aug. 2019, doi: 10.1007/s11771-019-4161-0.
- [22] N. H. Mirjat, M. A. Uqaili, K. Harijan, G. Das Walasai, M. A. H. Mondal, and H. Sahin, “Long-term electricity demand forecast and supply side scenarios for Pakistan (2015–2050): A LEAP model application for policy analysis,” *Energy*, vol. 165, pp. 512–526, Dec. 2018, doi: 10.1016/j.energy.2018.10.012.
- [23] D. Pila, C. Quinatoa, L. Camacho, and J. Vaca, “Transient Stability Analysis of the Ecuadorian Electrical System: Case of the Southern Segment,” *WSEAS Transactions on Power Systems*, vol. 19, pp. 360–373, 2024, doi: 10.37394/232016.2024.19.31.
- [24] I. Muñoz and F. Fuentes, “Multisectoral decarbonisation strategies in Punta Arenas, Chile: A multi-renewable technologies approach,” *Solar Energy Advances*, vol. 5, p. 100087, 2025, doi: 10.1016/j.seja.2024.100087.