

Modelos de la demanda de energía en hogares de Honduras mediante la plataforma LEAP

DOI: 10.5377/eya.v16i1.19636

Enviado: 14/11/2023

Aceptado: 8/11/2024

Ramón Edgardo Sarmiento Matute¹

Resumen

Este artículo se enfoca en la generación de modelos para evaluar la demanda de energía residencial en Honduras durante el periodo actual y el periodo 2022 – 2032 utilizando la Plataforma de Bajas Emisiones (LEAP). LEAP, es un sistema tecnológico utilizado para gestionar y optimizar la generación de energía a partir de fuentes renovables como la solar y eólica. La revisión de la literatura indica que a nivel mundial se han desarrollado diversos modelos de evaluación energética entre ellos los tipos Up-Down y Top-Down que evalúan sistemas de energía a nivel micro y macro respectivamente. En Honduras, la aplicación de estos modelos ha sido limitada generando la necesidad de utilizar una plataforma para la generación de modelos prospectivos que contribuyan a una planificación energética eficiente. La investigación comienza con un diagnóstico de la situación energética actual específicamente del sector residencial, posteriormente, se aplica el proceso de la plataforma LEAP para evaluar la demanda de energía en los hogares urbanos y rurales. De esta manera, se construyeron modelos que representan el sistema energético actual y escenarios futuros. Los resultados indican un alto consumo energético en el sector de la biomasa y un aumento en la demanda energética en el periodo 2022 - 2032.

Palabras clave: modelos energéticos, planificación energética, LEAP, modelos prospectivos

JEL: Q43

¹ Profesor e investigador, Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH) ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-2176-7590> Correo electrónico: ramon.sarmiento@unah.edu.hn Tegucigalpa, Honduras

Prospective model of energy demand in households in Honduras through the LEAP platform

DOI: 10.5377/eya.v16i1.19636

Received: 14/11/2023

Accepted: 8/11/2024

Ramón Edgardo Sarmiento Matute¹

Abstract

This article focuses on the generation of models to assess residential energy demand in Honduras during the current period and the period 2022-2032, using the Low Emissions Platform (LEAP). LEAP is a technological system used to manage and optimize the generation of energy from renewable sources, such as solar and wind. The literature review indicates that several energy assessment models have been developed worldwide, including the Up-Down and Top-Down types, which evaluate energy systems at the micro and macro levels, respectively. In Honduras, the application of these models has been limited, generating the need to use a platform for the generation of prospective models that contribute to efficient energy planning. The research begins with a diagnosis of the current energy situation, specifically in the residential sector, then the LEAP platform process is applied to assess the energy demand in urban and rural households. In this way, models were built that represent the current energy system and future scenarios. The results indicate a high energy consumption in the biomass sector and an increase in energy demand in the period 2022 - 2032.

Keyword: energy models, energy planning, LEAP, prospective models

JEL: Q43

¹ Professor and researcher, Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH) ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-2176-7590> Email: ramon.sarmiento@unah.edu.hn Tegucigalpa, Honduras

I. Introducción

Según la Organización de las Naciones Unidas, ONU, (2019) el mundo no avanza como se debería hacia el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenibles, ODS. Al ritmo actual, para el 2030 alrededor de 660 millones de personas no tendrán acceso a la electricidad.

De acuerdo con la Organización Latinoamericana de Energía, OLADE, (2019) en Latinoamérica y el Caribe hay aproximadamente 20 millones de personas sin acceso eléctrico a pesar de que es considerada una de las regiones en el mundo con mayor índice de cobertura eléctrica. Honduras no es la excepción, de acuerdo con la Secretaría de Energía de Honduras (SEN) (2021) en el país más del 15% de la población no cuenta con energía eléctrica. En los últimos años se han realizado esfuerzos considerables para formular y aplicar estrategias de planificación energética en los países en desarrollo mediante modelos energéticos Jebaraj & Iniyar, (2004).

Ante lo previamente descrito, esta investigación tiene como objetivo principal diseñar modelos prospectivos mediante la plataforma LEAP específicamente para evaluar el impacto de la integración de las energías renovables en Honduras.

De acuerdo con Hua et al. (2018) entre los modelos de planificación energética, el modelo LEAP es una herramienta ampliamente utilizada debido a su poderosa capacidad contable y sus aplicaciones flexibles facilitando realizar análisis de escenarios y desarrollar diagramas de flujo de energía al mismo tiempo, asimismo, el modelo LEAP tiene una amplia gama de aplicaciones, que no sólo se pueden aplicar a un sector particular de una ciudad, sino también al sistema energético de toda una ciudad. Al utilizar un enfoque de modelados esta investigación busca brindar una comprensión de las interacciones entre el despliegue de energía renovable y los efectos en la demanda energética. Los escenarios generados incorporaran varios factores, incluidos la demanda de energía tanto en el área urbana como rural.

II. Marco conceptual

II. I Base contextual

La investigación es definida bajo el contexto de Honduras, la información necesaria para su desarrollo ha sido generada por instituciones nacionales, empresas locales y extranjeras relacionadas con la generación de energía eléctrica en Honduras

II.II Datos demográficos

Los datos demográficos son los datos generales de un país del que se incluye; datos de población nacional, tasas de urbanización, tamaño promedio de los hogares, tasa de crecimiento de los hogares, tasa de crecimiento de la población y tasas de crecimiento de la urbanización.

De acuerdo con los datos del Instituto Nacional de Estadísticas, INE, (2022) el área geográfica de Honduras es de 11,492 kilómetros cuadrados, asimismo, la población total nacional es de 9.597,7 millones de habitantes de los cuales 5.317 millones están ubicados en la zona urbana y 4.280 millones de habitantes se ubican en la zona rural. Del total de habitantes el 48.7% son mujeres y 51.3% son hombres.

El incremento medio poblacional ha sido calculado también por el INE y representa una tasa constante de 1.6% en el periodo de 2019 al 2022 mientras que la densidad poblacional alcanza un total de 85.4 habitantes por kilómetro cuadrado. El número de viviendas particulares a nivel nacional para el 2022 era de 2.498 millones de las cuales 1443.8 millones de hogares se ubicaban en la zona urbana y 1055.5 millones de hogares en la zona rural.

Con respecto al crecimiento poblacional en la tabla 1 se muestra la proyección del número de viviendas en el periodo 2005 - 2022. En la tabla se han adicionado los factores de crecimiento

Tabla 1		Crecimiento poblacional			
Año	Número de hogares	Factor de crecimiento	Año	Número de hogares	Factor de crecimiento
2005	1483151	1	2014	1940233	1.021731
2006	1542069	1.039725	2015	1948419	1.004219
2007	1614906	1.047233	2016	1992974	1.022867
2008	1656746	1.025909	2017	2060165	1.033714
2009	1690775	1.02054	2018	2152827	1.044978
2010	1737262	1.027494	2019	2207901	1.025582
2011	1737496	1.000135	2021	2308688	1.045648

Fuente: adaptado de "Incremento de Hogares", Tipología de hogares en Honduras, EPHPM, junio 2022

Tabla 1		Crecimiento poblacional			
Año	Número de hogares	Factor de crecimiento	Año	Número de hogares	Factor de crecimiento
2012	1822142	1.048717	2022	2514020	1.088939
2013	1898966	1.042161	2023		

Fuente: adaptado de “Incremento de Hogares”, Tipología de hogares en Honduras, EPHPM, junio 2022

Los datos económicos según el Banco Central de Honduras, BCH, (2023) el PIB total en Honduras alcanzó la suma de L475,270.8 millones para el 2022 mientras que el año anterior dicho valor ascendió a L396,942.3 millones. Lo que representa un incremento anual de 1.2%. El BCH (2023) en su informe trimestral del PIB indica que el Producto Interno Bruto trimestral (serie desestacionalizada) registró una variación de 1.9% en el primer trimestre de 2023 al compararlo con igual trimestre del año anterior (variación interanual), asimismo, la industria manufacturera se redujo 5.2%, el sector de electricidad y distribución de agua presentó caída de 11.0% respecto al cuarto trimestre 2022. Como también, el primer trimestre del 2023 el sector transporte y almacenamiento registró incremento de 1.3%, consumo final creció en 0.7%, inversión total reducción de 9.3% BCH (2023)..

II.III Datos energéticos

Los datos energéticos incluyen el Índice de Cobertura Eléctrica porcentaje de hogares que cuentan con electrodomésticos, principales combustibles para cocinar tanto en el sector rural como urbano.

II.III.I Índice de Cobertura Eléctrica en Honduras.

Según la SEN (2022), existen 1,371,177 hogares conectados al Sistema Interconectado Nacional (SIN) en la zona urbana y 842,560 clientes conectado al SIN en la zona rural por lo que el índice de cobertura eléctrica en Honduras representó un 94.65% para el área urbana y un 74.41% para el área rural.

II.III.II Porcentaje de hogares que poseen electrodomésticos

Como se puede observar en la encuesta de EMDESA /MICS 2019 de la tabla 2. La cantidad de hogares de la zona rural que cuentan con refrigeración representa en la zona urbana un 82.9% y en la zona rural un 51.2 %

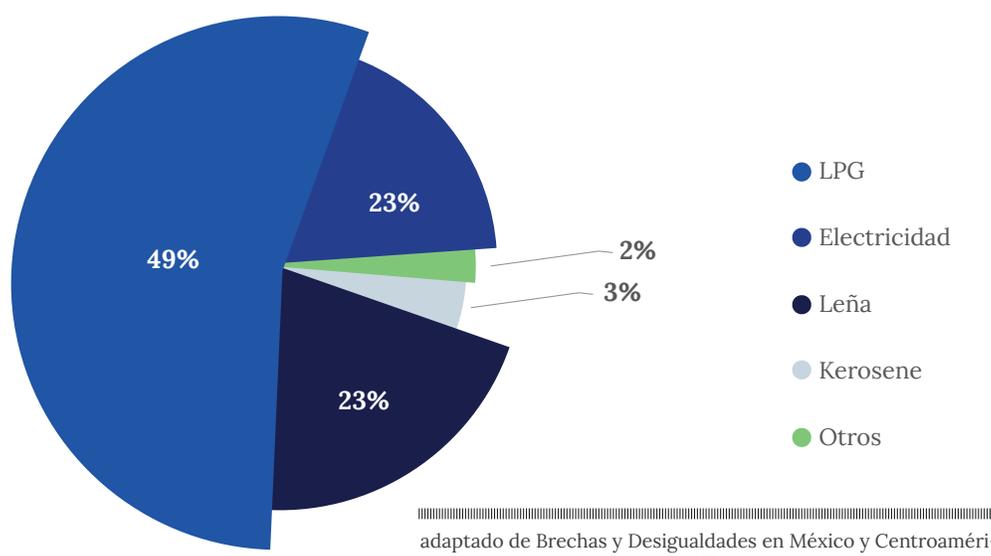
Porcentaje de hogares que poseen	Total	Urbano	Rural	Atlántida	Colón	Comayagua	Copán	Cortés	SPS	Resto de Cortés	Choluteca	El Paraíso
Television	74.7	90.9	60	77.8	72	75.2	69.2	90.4	94.6	88.1	70.6	60.7
Refrigerador	66.2	82.9	51.2	73.5	68.1	64	59.9	85.1	88	83.5	56.7	46.7
Microondas	33.2	50	18	34	30.1	29.8	25.5	45.5	54.1	40.7	20.5	21.1
A/C	9.6	15.4	4.5	14.7	11.7	4	5.7	26.1	36	20.6	7.2	1
Ventilador	56.1	73.9	40	81.8	81.8	42.5	44	92.1	94.5	91.2	61.2	22.9
	FM	Distrito Central	Resto de FM	Gracias a Dios	Islas de la Bahía	La Paz	Lempira	Ocotepeque	Olancho	Santa Bárbara	Valle	Yoro
Television	88	97	75.3	27.7	80.8	53.2	45.8	74.1	60.9	69.7	75.4	68.7
Refrigerador	79	88.8	65.2	14.8	72.4	38.7	36.5	65.5	53.6	59.2	67.8	63.1
Microondas	53	66.7	33.9	3.8	32.3	16.2	12.4	23.5	23.7	20.9	23.7	27.5
A/C	3.7	5.2	1.5	0.5	18.7	2.1	1.1	2.1	4.8	7.3	8.3	11.6
Ventilador	44	57.7	24.3	14.1	92	19.9	22.1	43.2	4.2	58.8	67.8	67.4

Fuente: Encuesta Nacional de Demografía y Salud (ENDESA/MICS 2019)

II.III.III Principales combustibles para cocinar en los hogares urbanos de Honduras

La Figura 1 muestra los principales combustibles para cocinar en el área urbana de Honduras. Como se puede observar en el diagrama circular los principales combustibles para cocinar en los hogares urbanos hondureños están representados por el gas LPG, la leña y la electricidad.

Figura 1 Principales combustibles para cocinar en los hogares urbanos

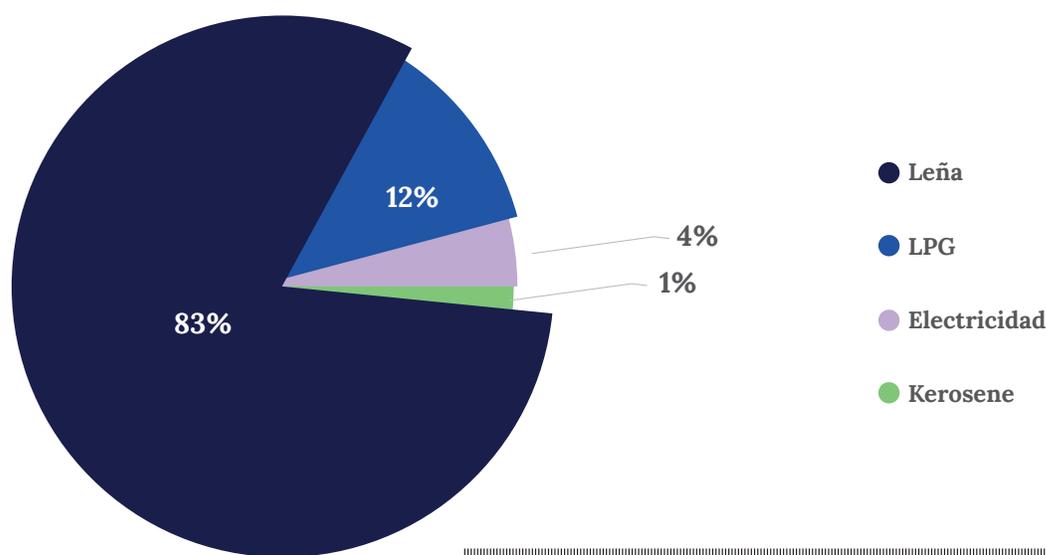


adaptado de Brechas y Desigualdades en México y Centroamérica, Nuevas Narrativas para una Transformación Rural, Arroyo J, 2023.

II.III.IV Principal combustible para cocinar en los hogares rurales de Honduras

La figura 2 muestra los principales combustibles para cocinar en las zonas rurales de Honduras. El consumo de la leña en el sector rural es significativamente mayor que los otros tipos de combustibles utilizados para cocinar. El consumo de la leña representa en dicha zona más del 80%. De acá que la adopción de estrategias encaminadas al uso racional de la biomasa es de gran importancia para Honduras, siendo éste un país netamente forestal, estrategias como la diseminación masiva de fogones mejorados, educación en el uso de residuos vegetales, entre otras, son de vital importancia en el aprovechamiento de la energía en los sectores rurales.

Figura 2 Principal combustible para cocinar en los hogares rurales de Honduras



Fuente: elaboración propia y adaptado de Brechas y Desigualdades en México Y Centroamérica, Nuevas Narrativas para una Transformación Rural, Arroyo J, 2023.

II.IV.I Base teórica

II.III.I La teoría general de los sistemas

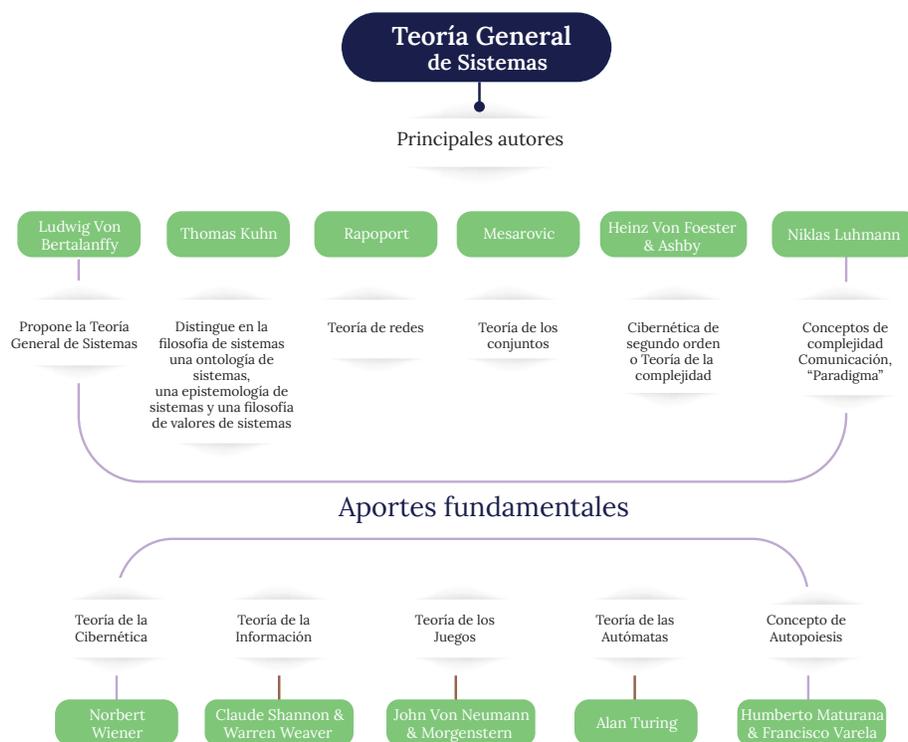
La teoría general de los sistemas define una serie de conceptos generales, principios y métodos que están relacionados con los sistemas de todo tipo. El enfoque de la teoría de sistemas incluye la teoría general de los sistemas, cibernética, teoría del control, teoría de la información teoría de redes, teoría de las matemáticas de las relaciones, teoría de juegos, teoría de simulaciones entre otras (Bertalanffy, 1972).

También, Bertalanffy (1972) menciona en la teoría de los sistemas de tecnología que los problemas son analizados considerando tanto la tecnología moderna como la sociedad, asimismo incluyendo

el componente “hardware” (a través del control de la tecnología, automatización, computación, entre otras) como el “software” (aplicación de los conceptos de sistemas y teorías en lo social, económico, entre otras) para la solución de problemas. Sin embargo, la tecnología moderna y la sociedad se ha vuelto compleja tanto que las áreas tradicionales de la tecnología ya no son suficientes para solventar problemas en diferentes contextos. Por ejemplo, la ingeniería moderna ha incluido campos como la cibernética, robótica, automatización, modelos energéticos y técnicas informáticas para manejar complejos sistemas mediante la aplicación de modelos matemáticos.

Los sistemas a cualquier nivel necesitan un control científico para la solución de los problemas. La necesidad de resolver los problemas desde un análisis sistémico conlleva a la invención de tecnologías con aplicaciones informáticas desarrolladas con codificaciones de provenientes de modelos multivariables. Por otra parte, el concepto de sistema constituye un nuevo paradigma, concepto filosófico que conlleva a la búsqueda de lo que un sistema representa desde el punto de vista ontológico. Para Bertalanffy (1972) considera dos sistemas: uno abstracto representado por símbolos matemáticos que representan un concepto del sistema y otro real aquel que es percibido por un observador independiente mediante la interrelación de entidades. La figura 3 muestra los principales precursores de la teoría general de los sistemas, asimismo los autores de diferentes teorías relacionadas.

Figura 3 Principales precursores de la Teoría General de los Sistemas



Fuente: Universidad Santo Tomás, 2013

II.IV.II Modelo LEAP

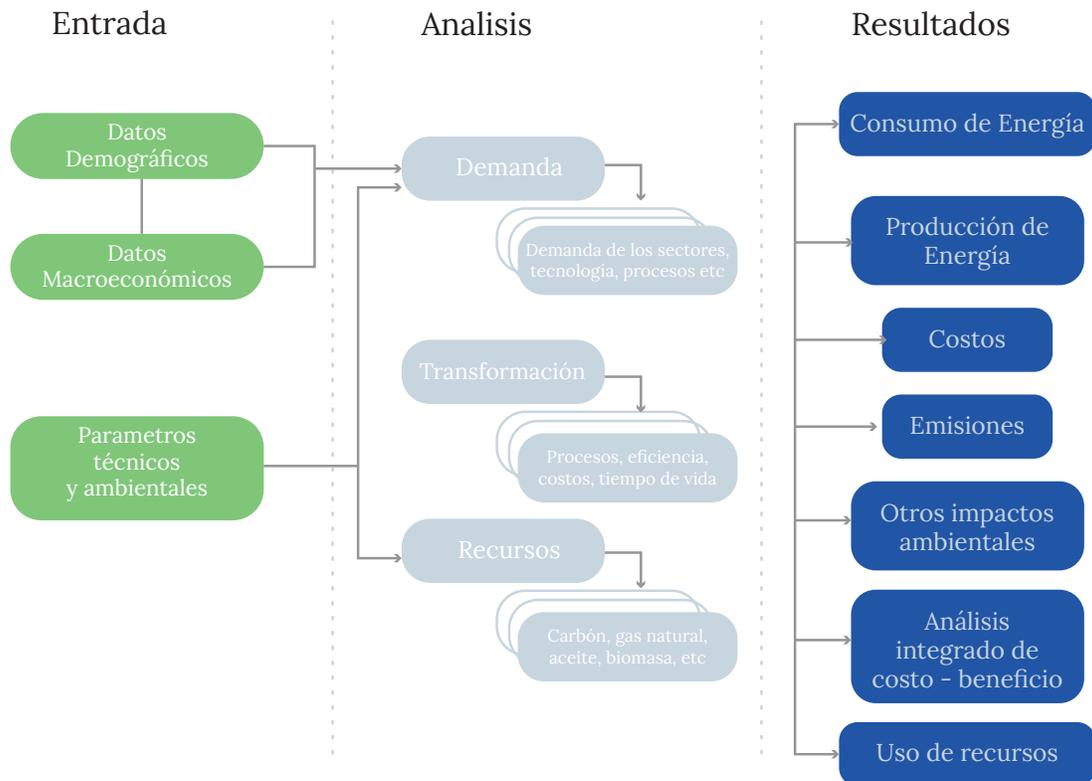
Low Emissions Analysis Platform (LEAP) es una herramienta de software basada en escenarios que admite diferentes modelados para el análisis de políticas energéticas y la evaluación de la mitigación del cambio climático en muchas escalas diferentes que van desde ciudades y estados hasta aplicaciones nacionales, regionales y globales. El objetivo principal de LEAP radica en proporcionar un medio de comparación entre un escenario de “Business as Usual (BaU)” y otros escenarios personalizados por el usuario que promueven la adopción de políticas innovadoras y estrategias sostenibles en el contexto de un país en sectores de actividad cruciales como la producción de energía y la envolvente del edificio. LEAP admite numerosos escenarios, proporcionando así información detallada sobre una amplia variedad de indicadores energéticos, ambientales y socioeconómicos clave.

McPherson y Karney (2014) evaluaron el modelaje de LEAP donde desarrollaron y analizaron cuatro escenarios: El escenario Business as Usual extrapola la tendencia de generación eléctrica que se ha observado en la última década y este comparó con tres escenarios alternativos que tienen objetivos más específicos. El escenario 1 fomenta la mitigación del clima sin incorporar nuevas tecnologías en la combinación de generación, el escenario 2 maximiza la diversidad de recursos y el escenario 3 minimiza el potencial de calentamiento global. Para cada escenario, la composición del perfil de generación de electricidad, el costo marginal del sistema, el potencial de calentamiento global y la diversidad de recursos se predice cuantitativamente.

LEAP se basa en una estructura integrada basada en escenarios, que también se puede utilizar para rastrear el consumo de energía, la producción y la extracción de recursos en todos los sectores de una economía. Según Amo-Aidoo et al. (2022) LEAP es una herramienta de software para la política energética, la mitigación del cambio climático y la previsión de la disminución de la contaminación del aire. Es una herramienta de modelado integrada que se puede utilizar para rastrear el consumo de energía, la producción y la extracción de recursos en todos los sectores de una economía. LEAP, se puede utilizar para contabilizar tanto las fuentes y sumideros de gases de efecto invernadero (GEI) del sector energético como las no relacionadas con el sector energético, además de rastrear los GEI. LEAP está diseñado en torno al concepto de análisis de escenarios de largo alcance.

Asimismo (LEAP) es un marco para la investigación del medio ambiente energético en todos los sectores de una economía. Es una herramienta analítica basada en la contabilidad para el consumo de energía, la producción y la extracción de recursos con optimización incorporada (Davis, Moronkeji, Ahiduzzaman, & Kumar, 2020). La figura 4 muestra el proceso de trabajo de la plataforma LEAP.

Figura 4 Diagrama de la plataforma LEAP

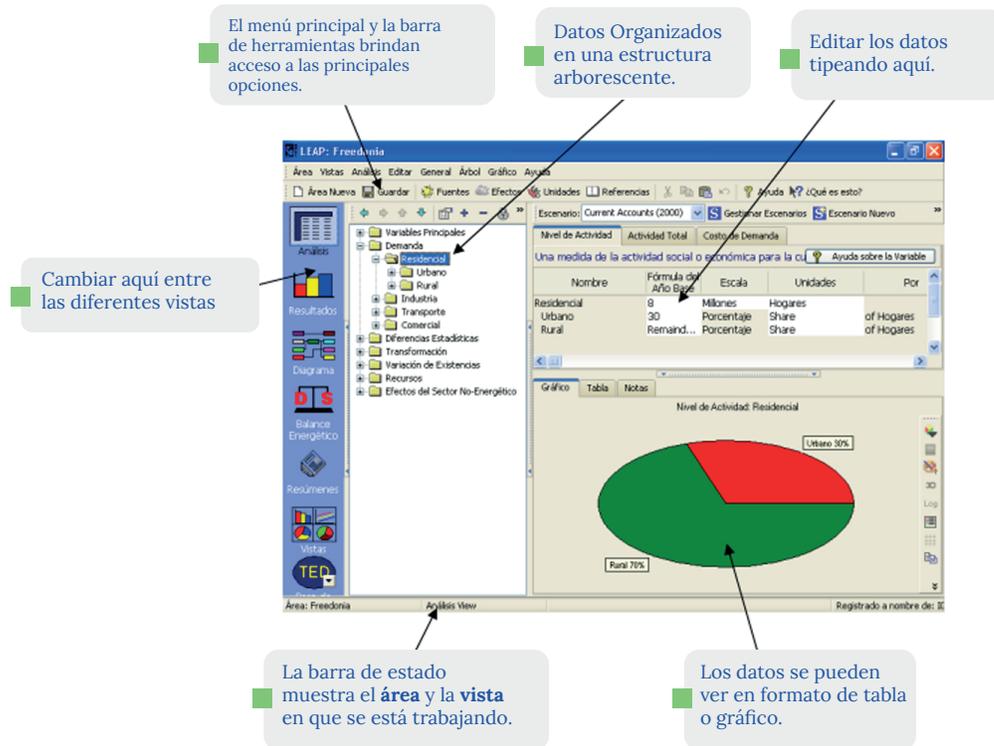


Fuente: marco básico de LEAP. Diagrama adaptado de C. Heaps y el Instituto de Medio Ambiente de Estocolmo, Montones, 2019; Instituto de Medio Ambiente de Estocolmo, 2016.

III. Metodología

En el contexto de los modelos energéticos es crucial obtener resultados precisos y confiables para tomar decisiones informadas sobre la producción y el consumo de energía. Un enfoque positivista ayuda a garantizar que los datos recopilados sean imparciales y verificables. De acuerdo con Ricoy (2006) en el paradigma del positivismo de Comte las condiciones para la obtención del conocimiento se centran esencialmente en la eliminación de los sesgos y compromisos de valor para reflejar la auténtica realidad. Por lo que, el paradigma asociado con la presente investigación es el positivismo. De acuerdo con Babativa (2017) en el enfoque cuantitativo-investigativo, una investigación es un proceso continuo y organizado mediante el cual se pretende algún evento y se caracteriza por ser: metódico, universal, sistemático, innovador claro, conciso y preciso, comunicable y aplicable. La investigación sobre modelos energéticos cumple con las características de una investigación cuantitativa de manera significativa.

Figura 5 Imagen de la estructura de trabajo de la plataforma LEAP



Fuente: tomado Manual del Usuario para la Versión 2004 de LEAP, Stockholm Environment Institute (SEI,2004)

La investigación presentada es cuantitativa y su diseño sigue la estructura de una investigación proyectiva, en este caso se enmarca en la indicada por Mousalli-Kallat (2015). El proceso para la generación del modelo en la presente investigación se limita a las siguientes 7 etapas: 1. Identificación del problema. 2. Revisión de la teoría e investigaciones previas. 3. Construcción del marco teórico. 4. Selección de la técnica para el acopio de datos 5. Realizar el acopio de datos de forma objetiva para la fase diagnóstica. 6. Organizar los datos, describir, resumirlos y analizar los datos recolectados. 7. Elaborar el diseño (plan, proyecto, propuesta, modelo).

III.I Software a utilizar para la generación de los modelos energéticos.

El Software LEAP será utilizado para la generación de modelos prospectivos. LEAP es una plataforma tecnológica desarrollada por el Instituto Ambiental de Estocolmo (IAE) de los Estados Unidos de Norteamérica. La Plataforma de Análisis de Bajas Emisiones (LEAP) (originalmente llamado Sistema de Planificación de Alternativas Energéticas de Largo Alcance) es un sistema de software potente y versátil para análisis de modelos de integración energética y la evaluación de la mitigación del cambio climático. LEAP puede simular sectores y tecnologías dentro de un sistema energético, asimismo LEAP permite administrar escenarios individuales y/o integrados que pueden ser de utilidad para la toma de decisiones en la elaboración de políticas sectoriales-energéticas.

Los escenarios resultantes son modelos coherentes sobre cómo podría evolucionar un sistema energético con el tiempo. LEAP muestra sus resultados en forma de gráficos, tablas y mapas definidos por el usuario y que pueden exportarse a los programas de Microsoft Excel o PowerPoint. Estos incluyen demandas de combustible, costos, producciones unitarias, emisiones de GEI, contaminantes del aire y más. Por lo general, estos resultados se utilizan luego para comparar un escenario de política activa versus un escenario de política neutral y sin cambios.

LEAP es una herramienta de modelado energético-ambiental basada en escenarios. Sus escenarios se basan en una contabilidad integral de cómo se consume, convierte y produce la energía en una región o economía determinada bajo una variedad de supuestos sobre población, desarrollo económico, tecnología, precio y otros elementos. Con sus estructuras de datos flexibles, LEAP permite un análisis variado en especificaciones tecnológicas y detalles de uso final.

IV. Fuente de datos

Los datos fueron obtenidos de las bases de datos de la Secretaría de Energía (SEN), Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE), Comisión Reguladora de Energía Eléctrica de Honduras (CREE), Banco Central de Honduras (BCH), Instituto Nacional de Estadísticas (INE), Organización de las Naciones Unidas (ONU), las bases de Scopus y Science Direct, así como de los buscadores Google Académico y Redalyc.

V. Discusión de los resultados

En este apartado se muestran los resultados obtenidos en el proceso de investigación. En primer lugar se muestra tanto el modelo actual con su escenario de referencia como el modelo prospectivo de la demanda residencial para el período 2022-2032 diseñado con la plataforma LEAP, el cual indica la tendencia del consumo de energía eléctrica.

V.I Modelo actual de la demanda energética del sector residencial

El escenario de referencia del modelo actual de la demanda energética del sector residencial incluye la situación de la demanda energética del sector residencial para el 2022. Cabe mencionar, que los datos del Índice de Cobertura, porcentaje de hogares con electrodomésticos y principales combustibles para cocinar son tomados de la información demográfica y energética indicada en el marco histórico y contextual de esta investigación por lo que no se indica su fuente en este capítulo.

V.II Índice de cobertura eléctrica en Honduras.

El Índice de Cobertura Eléctrica en Honduras representa un 94.65% para el área urbana y un 74.41% para el área rural. De acuerdo con estos datos posiblemente en Honduras es más fácil proporcionar servicios como la electricidad en la zona urbana debido a una mayor densidad de población y una infraestructura más desarrollada.

V.III Porcentaje de hogares que poseen electrodomésticos

Los electrodomésticos de cocina son fundamentales en la vida cotidiana de las familias, pero su uso también puede influir significativamente en el consumo de energía en los hogares. En Honduras, la cantidad de hogares de la zona urbana que tienen refrigerador representan un porcentaje de 82.9 y en la zona rural un 51.2. Asimismo, los poseedores de televisor en ambas zonas equivalen a un 90.9% y 60%, microondas 50% y 18%, aire acondicionado 15.4% y 4.5%, ventilador 73.9% y 40% respectivamente. De los electrodomésticos el aparato que más consume energía es el refrigerador,

esto debido a que se mantiene encendida las 24 horas del día

V.IV Principales combustibles para cocinar

En Honduras los principales combustibles utilizados para cocinar son la electricidad, la leña y el gas LPG. Cada uno de estos combustibles tiene un impacto distinto en el consumo de energía y en el medio ambiente, constituyendo cada uno de ellos, una fuente importante de energía. Los resultados del diagnóstico en los hogares urbanos indican que el 23% de los hogares utilizan electricidad, 49% utilizan gas LPG, un 3% utilizan kerosene, un 23% utilizan leña y otros un 2%.

Por otra parte, en la zona rural el 83 % de los hogares utilizan leña para cocinar, 4% utilizan electricidad, 1% utiliza kerosene y 12% gas LPG.

V.V Crecimiento del consumo de leña en el periodo 2000-2015

Como se indicó previamente, la leña es una fuente vital de energía para la población hondureña, especialmente en zonas rurales, donde el acceso a la electricidad es limitado. La leña permite la cocción de alimentos, el calentamiento de hogares y la realización de actividades diarias, desempeñando un papel importante en la vida cotidiana de miles de familias.

El aumento significativo en el consumo de leña en Honduras durante el período de 2000 a 2015 se puede observar en la tabla 3.

Tabla 3		Consumo de la leña en el periodo 2000-2015 en Kilotoneladas equivalentes de petróleo (Ktep)
Año	Consumo (Ktep)	
2000	1300	
2001	1300	
2002	1300	
2003	1300	
2004	1300	
2005	1400	
2006	1500	
2007	1550	
2008	1600	
2009	1700	
2010	1800	
2011	1900	
2012	1950	

Fuente: monitoreo de la eficiencia energética CEPAL, 2018.

Tabla 3		Consumo de la leña en el periodo 2000-2015 en Kilotoneladas equivalentes de petróleo (Ktep)
Año	Consumo (Ktep)	
2013	2000	
2014	2000	
2015	2200	

Fuente: monitoreo de la eficiencia energética CEPAL, 2018.

El crecimiento promedio de la demanda calculado mediante la media geométrica es de 29%.

V.VI Crecimiento de la demanda eléctrica en Honduras

En Honduras, el crecimiento sostenido de la demanda de energía eléctrica es un fenómeno de vital importancia. En los últimos años, el país ha experimentado un aumento constante en su consumo de electricidad como se puede observar en la tabla 4. En la columna 3 se indican los factores de crecimiento, necesarios para el cálculo de la media de crecimiento. En este caso se utilizó la media geométrica para determinar el crecimiento promedio de la demanda eléctrica. La media geométrica del crecimiento se utilizará en la plataforma LEAP para generar el modelo prospectivo 2022-2032

Tabla 4			Crecimiento de la demanda eléctrica en Honduras
Año	Demanda	Factor de crecimiento	
2018	1732607	1	
2019	1806961	1.042914521	
2020	1915323	1.059969197	
2021	1945191	1.015594237	

Fuente: elaboración propia con datos del INE, 2022

El crecimiento promedio de la demanda calculado mediante la media geométrica es de 2.9%

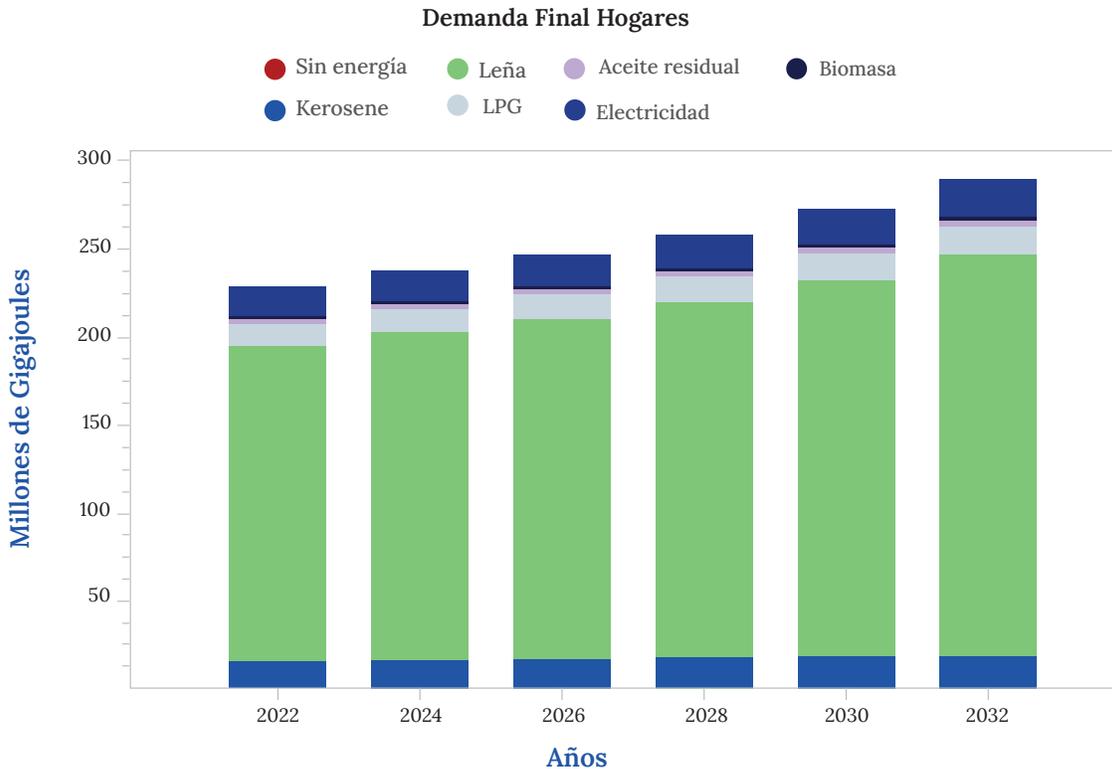
V. VII Modelo prospectivo del sector residencial 2022-2032

En el escenario prospectivo la plataforma estima valores de variables en un futuro, como ser: la demanda de los hogares, demanda de aparatos eléctricos, consumo de energía en los sectores rural y urbano. Para obtener los resultados del modelo prospectivo es necesario aplicar en el mismo la información previamente indicada en la plataforma LEAP, asimismo el crecimiento de consumo de leña, y el crecimiento del consumo eléctrico (demanda). Al evaluar la plataforma LEAP el modelo prospectivo resultante está representado por el siguiente escenario:

V. VIII demanda por tipo de energía

La demanda por tipo de energía se refiere a la cantidad de energía que se consume o se necesita de diferentes fuentes o formas de energía. Existe un crecimiento según la figura 6 en la demanda de energía durante el periodo 2022-2032.

Figura 6 Diagrama de la plataforma LEAP



Fuente: : elaboración propia mediante el uso de la plataforma LEAP,2023

El cuadro indicado por la tabla 5 muestra con más detalle cómo los hogares diversificarán sus fuentes de energía, desde la electricidad convencional hasta fuentes como el gas kerosene, gas LPG y la leña durante el periodo 2022-2032.

Tabla 5	Demanda de Energía Residencial (Millones de Joules)						
Combustible	2022	2024	2026	2028	2030	2032	Total
Electricidad	16.6	18.0	19.5	21.1	22.9	24.9	122.9

Fuente: elaboración propia mediante el uso de la plataforma LEAP.,2023

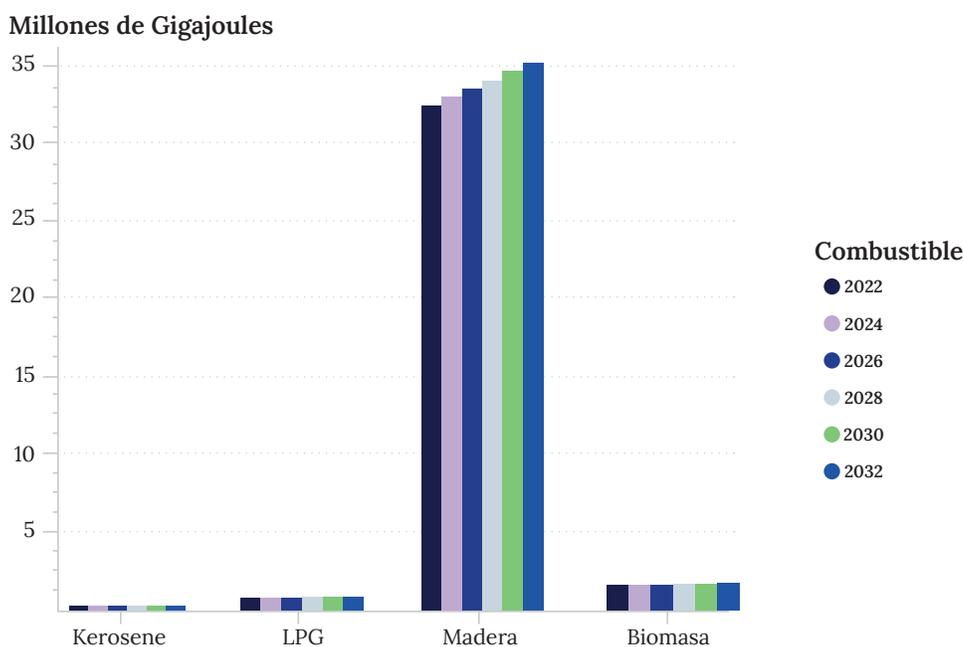
Tabla 5		Demanda de Energía Residencial (Millones de Joules)					
Combustible	2022	2024	2026	2028	2030	2032	Total
Kerosene	1.5	1.7	2.0	2.2	2.5	2.8	12.8
LPG	12.7	13.8	15.1	16.5	18.0	19.7	95.7
Madera	207.7	213.6	219.4	225.0	230.5	235.8	1,332.0
Biomasa	11.6	12.6	13.7	15.0	16.4	17.9	87.2
Total	251.8	261.5	271.4	281.7	292.1	302.8	1,661.3

Fuente: elaboración propia mediante el uso de la plataforma LEAP,2023

V.IX Demanda de energía para cocción en zonas no electrificadas

La figura 7 muestra la energía para cocción en zonas no electrificadas en el periodo 2022-2032. Como se puede observar la demanda hace referencia al kerosene, gas LPG, la leña y la biomasa. La biomasa se considera combustible. Ejemplo: los residuos sólidos de los árboles como las hojas y ramas secas. En la imagen de la figura 7 solo se considera el incremento del consumo de leña.

Figura 7 Demanda de Energía para cocción en zonas no electrificadas en el periodo 2022-2032

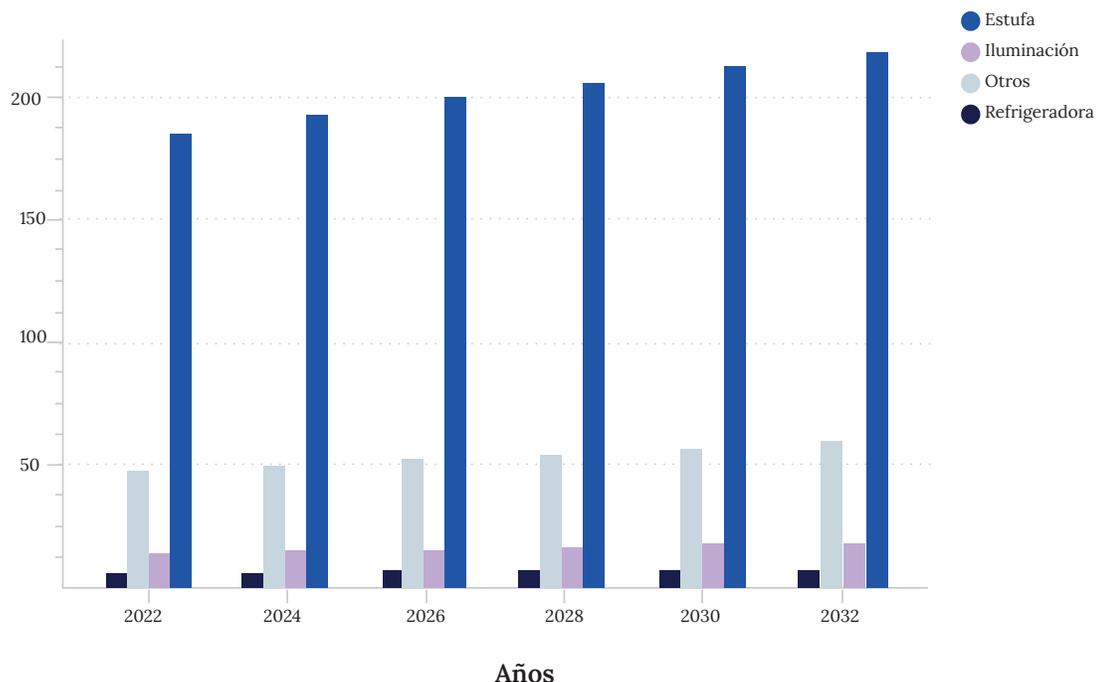


Fuente: : elaboración propia mediante el uso de la plataforma LEAP,2023

V.X Demanda de energía de aparatos en los hogares en el periodo 2022-2032

Medir y comprender la demanda futura de energía de los aparatos es fundamental para la gestión de la eficiencia energética y la planificación del consumo de electricidad en un entorno determinado. Por ejemplo, la creciente dependencia de dispositivos electrónicos y la evolución de la tecnología hacen que la comprensión de la demanda futura de energía sea más crucial que nunca. Esto permite tomar decisiones informadas para optimizar la eficiencia energética y garantizar una gestión sostenible de los recursos eléctricos, contribuyendo a un futuro más eco-amigable y económico.” La demanda de energía de aparatos en los hogares se puede visualizar en la figura 8. El período 2022-2032 se caracteriza por un marcado crecimiento en la demanda de electrodomésticos con un enfoque destacado en el uso de estufas eléctricas.

Figura 8 Demanda de energía de aparatos eléctricos en los hogares en el periodo 2022-2032



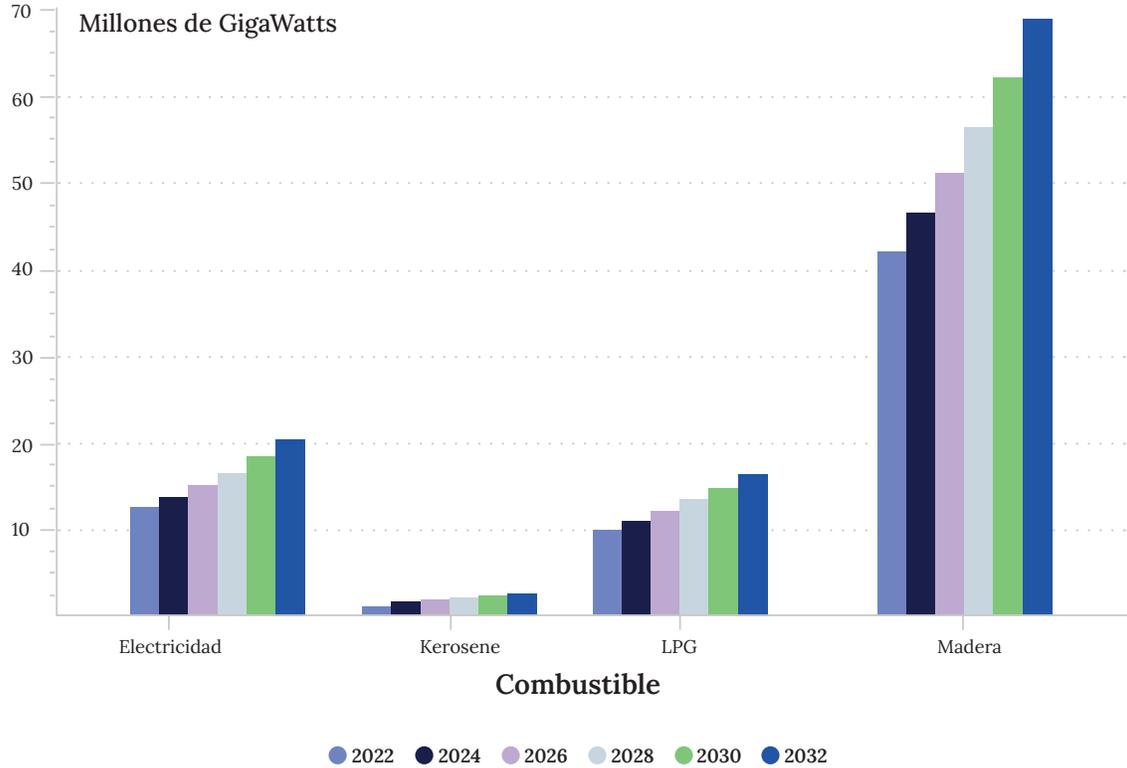
Fuente: elaboración propia mediante el uso de la plataforma LEAP.

V.XI Demanda por tipo de energía en los hogares rurales en el periodo 2022-2032

La figura 9 muestra la demanda de energía en los hogares rurales en el periodo 2022-2033. Es notoria la participación de la leña en la proyección de consumo durante el periodo considerado. En muchas regiones, la leña es una fuente importante de energía para cocinar y calentar. Conocer

la demanda es crucial para garantizar un suministro adecuado y evitar escasez en las comunidades que dependen de ella.

Figura 9 Demanda por tipo de energía en los hogares rurales en el periodo 2022-2032



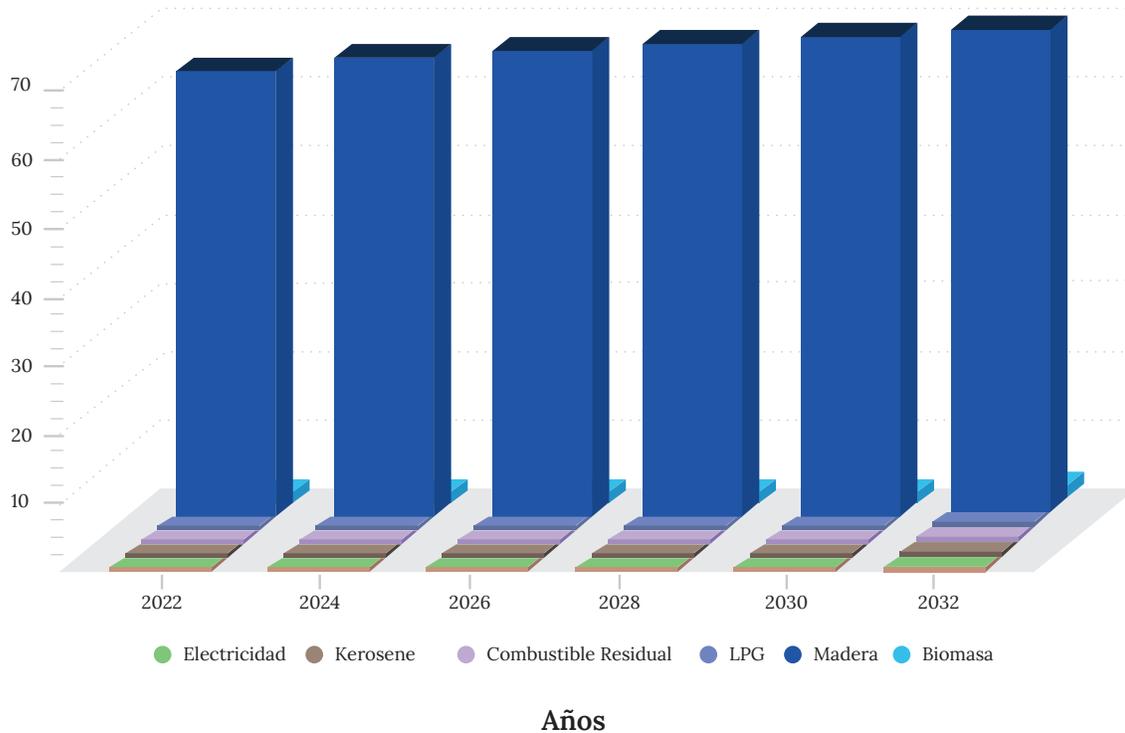
.....
Fuente: elaboración propia mediante el uso de la plataforma LEAP,2023

V.XII Demanda de energía para iluminación área rural 2022-2032

El diagrama de barras de la figura 10 y tabla 6 muestra la tendencia de la energía para iluminación en zonas rurales y rurales no electrificadas de Honduras del periodo 2022-2032. La leña continúa siendo la fuente más utilizada. La iluminación con leña especialmente en zonas no electrificadas es una opción viable, pero es importante abordarla con precaución y teniendo en cuenta consideraciones de seguridad y sostenibilidad.

Figura 10 Demanda de energía para iluminación área rural 2022-2032

Millones de Gigajoules



Fuente: elaboración propia mediante el uso de la plataforma LEAP.

V.XIII Demanda de energía para iluminación en las zonas rurales no electrificadas

La tabla 6 muestra la energía para iluminación en zonas rurales no electrificadas para el periodo 2022-2032.

Tabla 6		Demanda de energía para iluminación en las zonas rurales no electrificadas ($\times 10^6$ GJ)						
Fuel	2022	2024	2026	2028	2030	2032	Total	
Electricidad	2.0	2.1	2.1	2.2	2.2	2.2	12.8	
Combustible residual	431.0	441.8	451.4	459.5	465.9	470.1	2,719.7	
Gas LPG	33.2	34.0	34.7	35.4	35.8	36.2	209.3	
Leña	1,553.0	1,591.7	1,626.2	1,655.5	1,678.5	1,693.9	9,798.8	
Total	2,019.2	2,069.5	2,114.4	2,152.5	2,182.4	2,202.4	12,740.5	

Fuente: elaboración propia mediante el uso de la plataforma LEAP.

VI. Discusión

En este apartado se discuten los resultados obtenidos en el proceso de investigación. En primer lugar, se discute el modelo actual del sector residencial, posteriormente los modelos prospectivos tanto para el área residencial en el periodo 2022-2032:

VI. I Modelo actual del sector residencial

Aumento poblacional: un 3% de aumento en la población de Honduras en los últimos años puede ser producto de una mejora en la atención médica, un alto nivel de migración un índice bajo de natalidad. De acuerdo con el Observatorio Demográfico Universitario (ODU) de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH) menciona que Honduras está en plena transición demográfica caracterizada por su paulatina evolución en la estructura etaria poblacional, la cual dio inicio en 2010 y se espera que culmine en 2045, este proceso es derivado del descenso experimentado en las tasas de mortalidad y fecundidad.

Aumento en el consumo de leña: el alto porcentaje de uso de la leña para cocinar en Honduras se debe a que la leña suele ser más económica en comparación con otras fuentes de energía, como el gas natural o la electricidad, asimismo, la leña es a menudo fácilmente accesible y la falta de electrificación en las comunidades rurales conlleva a la dependencia de la leña como fuente de calor y cocina.

Aumento en el consumo de energía eléctrica: el aumento en la demanda de energía eléctrica en Honduras se puede deber a los siguientes factores:

1. *Crecimiento de la Población:* de acuerdo con Marzo (2014) suministrar electricidad a nivel global a los que hoy en día carecen de ella supondría aumentar la generación de electricidad en un 2,5%. En consonancia con lo anterior, el aumento de la población en Honduras contribuiría directamente al crecimiento de la demanda eléctrica, ya que cada vez más personas necesitan electricidad para sus hogares, escuelas, hospitales y otras necesidades cotidianas.
2. El crecimiento económico y la expansión de las actividades comerciales e industriales requieren una mayor cantidad de electricidad. Las empresas necesitan energía para operar maquinaria, equipos y sistemas de iluminación. De acuerdo con Sichigea et al (2024) los resultados de su estudio sobre la relación del desarrollo económico y la aplicación de energía verde muestran vínculos entre el crecimiento económico, la energía verde y la inversión en tecnología.
3. *Urbanización:* la migración de personas del campo a las ciudades y la expansión urbana aumentan la concentración de población en áreas que requieren una mayor oferta de electricidad. El consumo energético a nivel mundial mantiene una tendencia creciente, dado, principalmente por el desarrollo urbano (Macas & Erazo, 2019).

4. *Industrialización*: el crecimiento de la industria en Honduras que abarca sectores como la manufactura, la agroindustria y la minería genera una creciente demanda de electricidad para alimentar procesos de producción y maquinaria. Un sector industrial utiliza más energía que cualquier otro sector de uso final (Atabani et al, 2011).
5. *Tecnología y electrificación*: la creciente dependencia de dispositivos electrónicos, desde computadoras hasta teléfonos móviles, aumenta el consumo de electricidad en los hogares y las empresas. En México, por ejemplo, y de acuerdo con Morales & Luyando (2016) el aumento en la demanda de aparatos y enseres eléctricos ha provocado más consumo de energía eléctrica.
6. *Turismo*: en el caso que Honduras experimentará un aumento en el turismo, la infraestructura turística, que incluye hoteles, restaurantes y atracciones puede aumentar la demanda de electricidad. La relación entre la energía eléctrica y el turismo se ha caracterizado por el reconocimiento de que la primera es un insumo clave del segundo (Luyando et al, 2020).

Por otra parte, para abordar el crecimiento de la demanda eléctrica es importante invertir en la expansión de la infraestructura eléctrica, el cuál es uno de los mayores desafíos del sector eléctrico del país. Asimismo, promover continuamente la eficiencia energética y diversificar sus fuentes de energía puede ser beneficioso fomentar la conciencia pública sobre el uso responsable de la electricidad.

VI. II Modelo prospectivo del sector residencial para el periodo 2022-2032

De acuerdo con los resultados obtenidos con la plataforma LEAP las estufas eléctricas o no (fogones a base de leña), seguirán siendo en el periodo 2022-2033 los dispositivos o medios de consumo energético de mayor uso en los hogares de Honduras, esto se debe a que en el caso de las estufas eléctricas estas suelen tener una alta potencia, especialmente las estufas de cocina. Asimismo, las estufas suelen estar encendidas durante más tiempo en comparación con muchos otros dispositivos como lámparas, computadoras o televisores. La cocción de alimentos a menudo lleva más tiempo lo que resulta en un consumo de energía más alto.

En el sector rural de Honduras o en áreas suburbanas en las ciudades como Tegucigalpa y San Pedro Sula es frecuente el uso de fogones tradicionales, los cuales, a diferencia de los fogones mejorados, estos consumen un alto nivel de energía.

Por otra parte, de acuerdo con los datos obtenidos tanto el kerosene como el uso de la leña seguirán siendo los combustibles de mayor uso para iluminación en las zonas rurales de Honduras, especialmente en regiones donde no existe electrificación. El uso de la leña para la iluminación y calefacción en áreas rurales generalmente se asocia con la falta de acceso a fuentes de energía modernas, como la electricidad o el gas natural. Esto suele ser más común en áreas remotas y desfavorecidas donde la infraestructura de servicios básicos es limitada. Además, es importante mencionar que el uso de la leña como fuente de energía tiene implicaciones para la salud y el medio ambiente, ya que la quema de leña puede contribuir a la contaminación del aire y a problemas respiratorios, además de la deforestación.

VII. Conclusiones

1. La plataforma LEAP Energy es un generador de escenarios muy potente que puede ayudar a los líderes energéticos a diseñar estrategias energéticas robustas y a comprender mejor el impacto de diferentes decisiones en el futuro del suministro de energía de un país o región.
2. De acuerdo con los resultados obtenidos del sector residencial, un aumento en el uso de leña indica que, a pesar del avance tecnológico y el acceso a la electricidad, muchas comunidades rurales en Honduras siguen dependiendo en gran medida de la leña como fuente de energía para calefacción, cocina u otras necesidades domésticas.
3. Es posible que la falta de un crecimiento significativo en la demanda eléctrica en la zona rural se deba a limitaciones en procesos de electrificación por parte de los entes competentes. Esto podría ser el resultado de la falta de acceso a la red eléctrica en algunas áreas o la falta de recursos para adquirir equipos eléctricos generando un impacto significativo para el sector de la industria eléctrica al no poder desarrollar suficientes proyectos para electrificar comunidades rurales debido a la fragilidad de la infraestructura de red de transmisión eléctrica.
4. El uso de la leña, la electricidad y el gas LPG son los combustibles más utilizados por la población hondureña. En este sentido la economía rural podría estar fuertemente ligada a la producción y venta de leña, lo que explicaría el aumento en su uso a pesar de la disponibilidad de electricidad en algunas zonas rurales o suburbanas.
5. La proyección de la demanda de energía en el 2022-2032 teniendo en cuenta el aumento en la capacidad instalada indica que se están tomando medidas adecuadas para satisfacer las necesidades energéticas esperadas de una población en crecimiento. Esto es fundamental para evitar escasez de energía y asegurar la continuidad de los servicios.

VIII. Recomendaciones

Después de la revisión de los datos, análisis de los resultados y evaluar las conclusiones, las recomendaciones de la investigación son las siguientes:

1. La generación de modelos energéticos no se puede efectuar de manera aislada debe existir una estrecha colaboración con las partes interesadas en la industria energética hondureña, como el gobierno, empresas energéticas, grupos de la sociedad civil y comunidades locales.
2. Es necesario realizar análisis de sensibilidad y crear diversos escenarios para evaluar diferentes opciones y estrategias energéticas. Esto permitirá comprender las implicaciones de diversas decisiones y políticas en la planificación energética del país.
3. Considerar factores de sostenibilidad y resiliencia, como la mitigación del cambio climático, la seguridad energética y la adaptación a desafíos climáticos, en las evaluaciones para asegurarse que las estrategias propuestas contribuyan a un futuro energético sostenible para Honduras.
4. El modelo LEAP es una potente plataforma para la generación de escenarios, hay que asegurarse de contar con datos precisos y actualizados sobre la producción de energía, la demanda, las fuentes de energía, las emisiones de gases de efecto invernadero y otros factores energéticos específicos. Esto incluye datos históricos y proyecciones futuras.
5. Las autoridades competentes de planificación energética de Honduras pueden utilizar la plataforma LEAP para identificar proyectos energéticos estratégicos que sean económicamente viables y sostenibles. La plataforma LEAP puede ayudar a priorizar inversiones en infraestructura energética, como la construcción de parques eólicos, plantas solares, centrales hidroeléctricas y proyectos de eficiencia energética.

VIX. Referencias

- Amo-Aidoo, A., Hensel, O., Korese, J. K., Sturm, B., & Kumi, E. N. (2022). Solar energy policy implementation in Ghana: A LEAP model analysis. *Scientific African*. doi:10.1016/j.sciaf.2022.e01162
- Atabani, A., Saidur, R., & Mekhilef, S. (2011). A review on energy saving strategies in industrial sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 150-168.
- Babativa, C. A. (2017). *Investigación Cuantitativa* (Primera ed.). (F. e. Areandino, Ed.) Bogotá: Fundación Universitaria del Área Andina. Retrieved from <https://digitk.areandina.edu.co/bitstream/handle/areandina/3544/Investigaci%C3%B3n%20cuantitativa.pdf?sequence=1>
- CEPAL. (2023). Brechas de Desigualdad Mexico, Centro America y El caribe. https://www.cepal.org/sites/default/files/presentations/3._arroyo_jose_manuel.pdf
- Davis, M., Moronkeji, A., Ahiduzzaman, M., & Kumar, A. (2020). Assessment of renewable energy transition pathways for a fossil fuel-dependent electricity-producing jurisdiction. *Energy for Sustainable Development*, Volume 59, 243-261. doi:doi.org/10.1016/j.esd.2020.10.011
- Banco Central de Honduras (BCH). (2023). Producto Interno Bruto I Trimestre de 2023. Retrieved from <https://www.bch.hn/estadisticos/EME/Informe%20del%20Producto%20Interno%20Bruto%20Trimestral/Producto%20Interno%20Bruto%20I%20trimestre%202023.pdf>
- Hua, G., Ma, X., & Ji, J. (2018). Scenarios and policies for sustainable urban energy development based on LEAP model – A case study of a postindustrial city: Shenzhen China. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.162>
- Instituto Nacional de Estadísticas. (INE,2022). Tipología de los hogares de Honduras
- INE. (2019). Encuesta Nacional de Demografía y Salud . Encuesta de Indicadores Múltiples por Conglomerados(ENDESA MICS/2019). <https://www.ine.gob.hn/V3/imag-doc/2021/10/Informe-ENDESA-MICS-2019.pdf>
- Jebaraj, S., & Iniyar, S. (September de 2004). A review of energy models. *Renewable and Sustainable Energy Review*. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2004.09.004>
- Luyando Cuevas, J., Jaramillo Escobedo, J., Zabaloy, M., & Guwoski, C. (2020). Enlazando turismo y energía: eficiencia energética en hoteles del noreste de México. *Revista Interamericana de Ambiente y Turismo*, 16(2). doi:10.4067/S0718-235X2020000200106
- Organización Latinoamericana de Energía. (2019). Retrieved from <https://www.olade.org/en/publicaciones/dto-2019-008-pobreza-energetica-en-america-latina-y-el-caribe-una-propuesta-de-indicadores-que-midan-el-acceso-a-la-energia-con-enfoque-de-desigualdad-social-y-de-genero/>
- Macas, S., & Erazo, R. (Julio 2019 de 2019). Consumo de energía, crecimiento económico y urbanización:Evidencia empírica para grupos de países con diferentes nivelesde ingreso. *Revista Económica*, 7. Obtenido de <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/economica/article/view/806/644>

- Marzo Carpio, M. (2014). Energía, desarrollo, demografía y recursos naturales. (D. Médica, Ed.) *Revista de Humanidades*, 182-196. Recuperado el 2024, de https://www.fundacionpfizer.org/sites/default/files/dendra_nov_2014_03_energia_desarrollo_demografia_y_recursos_naturales.pdf
- McPherson, M., & Karney, B. (2014). Long-term scenario alternatives and their implications: LEAP model application of Panama's electricity sector. *Energy Policy*, 146-157. doi:10.1016/j.enpol.2014.01.028
- Morales Ramirez, D., & Luyando Cuevas, J. (2016). Actitudes y conocimientos en el consumo de electricidad domiciliaria. *Ciencia UANL*(77).
- Mousalli-Kallat. (2015). *Métodos y Diseños de Investigación Cuantitativa*. Creative Commons. Retrieved October 2023, from https://www.researchgate.net/profile/Gloria-Mousalli/publication/303895876_Metodos_y_Disenos_de_Investigacion_Cuantitativa/links/575b200a08ae414b8e4677f3/Metodos-y-Disenos-de-Investigacion-Cuantitativa.pdf
- ONU. (2019). Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. https://unstats.un.org/sdgs/report/2019/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2019_Spanish.pdf?
- Ricoy , C. (2006). Contribución sobre los paradigmas de investigación. *Educação. Revista do Centro de Educação*, 31(1), 11-22. Retrieved from <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=117117257002>
- Secretaría de Energía(SEN). (2021). Informe de Cobertura y Acceso a la Electricidad. Informe, Tegucigalpa. Retrieved from <https://sen.hn/wp-content/uploads/2023/05/Informe-de-cobertura-y-acceso-a-electricidad.pdf>
- Sichigea, M., Puiu, S., Circiumaru, D., & Silviu , C. (2024). Insights from the nexus between economic growth and green energy. *Heliyon*. doi:10.1016/j.heliyon.2024.e34195
- Stockholm Environmet Institute(SEI). (May de 2005). https://unfccc.int/resource/cd_roms/na1/mitigation/Module_5/Module_5_1/b_tools/LEAP/Manuals/Leap_Use_Guide_English.pdf