

Model for Projection of Energy Consumption according to the Energy Balance of Peru, to Propose a New Energy Alternative for a Nanogrid System in DC, Applying Neural Networks

Norman Jesús Beltrán Castañón, Doctor¹, Huber Rony Hurtado Arhuata, Magister², Juan Churata Huaraya, Magister³, Rousell Dario Montes Apaza, Magister⁴, José Manuel Ramos Cutipa, Magister⁵

^{1,5}Universidad Nacional del Altiplano, Perú, nbeltran@unap.edu.pe, jramos@unap.edu.pe

^{2,3,4}Universidad Nacional de Juliaca, Perú, h.hurtado@unaj.edu.pe, j.churata@unaj.edu.pe, rd.montes@unaj.edu.pe

Abstract– The discovery of natural gas (pagoreni, camisea), international agreements (Brazil) and the promotion of non-conventional energies have transformed the Peruvian energy matrix. These changes have allowed the identification of new energy resources and the diversification of energy generation, driving a change in consumption patterns in different sectors. The introduction of new energy potentials in the Peruvian market requires comprehensive strategies that consider political, technical, economic and social aspects. The advantages of these energies, such as sustainability, efficiency and safety, must be taken advantage of to overcome the difficulties of insertion and achieve a positive effect as an energy alternative. The study presents a comprehensive vision of Peru's energy future, combining the potential of natural gas and direct current nanogrids. A path is proposed towards a more sustainable, diversified and secure energy matrix, which boosts the economy and development of the country [9]. The study uses a robust projection model that combines different techniques and tools for energy demand prediction. This approach allows for greater precision and flexibility in modeling, resulting in better energy planning and more effective decision-making in the sector.

Keywords– Projection model, BEN projection, BNE of Peru, DC nanogrids, photovoltaic systems.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

Modelo para Proyección de Consumo de Energía según el Balance Energético del Perú, para Proponer una Nueva Alternativa Energética de Sistema de Nanoredes en C.C., Aplicando Redes Neuronales

Norman Jesús Beltrán Castañón, Doctor¹, Huber Rony Hurtado Arhuata, Magister², Juan Churata Huaraya, Magister³, Rousell Dario Montes Apaza Magister⁴, José Manuel Ramos Cutipa, Magister⁵

^{1,5}Universidad Nacional del Altiplano, Perú, nbeltran@unap.edu.pe, jramos@unap.edu.pe

^{2,3,4}Universidad Nacional de Juliaca, Perú, h.hurtado@unaj.edu.pe, j.churata@unaj.edu.pe, rd.montes@unaj.edu.pe

Abstract– *El descubrimiento de gas natural (pagoreni , camisea) , los convenios internacionales(Brasil) y la promoción de energías no convencionales han transformado la matriz energética peruana. Estos cambios han permitido la identificación de nuevos recursos energéticos y la diversificación de la generación de energía, impulsando un cambio en los patrones de consumo en diferentes sectores.*

La introducción de nuevos potenciales energéticos en el mercado peruano requiere estrategias integrales que consideren aspectos políticos, técnicos, económicos y sociales. Las ventajas de estos energéticos, como la sostenibilidad, la eficiencia y la seguridad, deben ser aprovechadas para superar las dificultades de inserción y lograr un efecto positivo como alternativa energética. El estudio presenta una visión integral del futuro energético del Perú, combinando el potencial del gas natural y las nanoredes en corriente continua. Se propone un camino hacia una matriz energética más sostenible, diversificada y segura, que impulse la economía y el desarrollo del país [9]. El estudio utiliza un modelo de proyección robusto que combina diferentes técnicas y herramientas para la predicción de la demanda de energía. Este enfoque permite una mayor precisión y flexibilidad en la modelización, lo que se traduce en una mejor planificación energética y una toma de decisiones más efectiva en el sector.

Keywords– *Modelo de proyección, proyección de BEN, BNE de Perú, nanoredes de C.C., sistemas fotovoltaicos.*

I. INTRODUCCIÓN

El balance energético es una forma de mostrar los datos sobre la disponibilidad y consumo de energía en una región geográfica particular, ya sea a nivel nacional o regional, y se refiere a un período específico [5]. Se fundamenta en un conjunto de relaciones equilibradas que registran la energía generada (procedencia), la energía intercambiada con el exterior, la energía transformada, la auto consumida, la no utilizada y la distribuida a los diferentes sectores y actores económicos (destino final) [7]. En el contexto de los balances a nivel regional, también se tienen en cuenta los intercambios netos entre las distintas regiones.

La creación del balance precisa de un enfoque metodológico específico que proporcione información coherente en términos de unidades estándar de energía. Esto

facilita la comparación y la integración para el análisis de diversas fuentes energéticas [6]. De este modo, se convierte en una herramienta sistemática y de alcance general para la elaboración de planes de orientación y la toma de decisiones en el ámbito del sector [8]. Además, permite realizar comparaciones de la composición energética del país a lo largo del tiempo, así como comparaciones en un momento específico con otros países de la región o a nivel global [8].

Un aspecto crucial es que desde los años 1970 se reconoció la importancia de elaborar y formular el Balance Nacional de Energía [7]. Por esta razón, la información disponible se remonta a ese año y se publica oficialmente de manera anual por el Ministerio de Energía y Minas. Actualmente, se dispone del Balance Nacional de Energía correspondiente al año 2021 [5]. La falta de información oficial sobre los Balances Energéticos Regionales y la proyección del BEN es un problema serio que limita la capacidad del país para planificar su futuro energético de manera eficiente y sostenible.

Debido a la creciente demanda de comprender la situación energética en el Perú, abarcando aspectos como electricidad, energías renovables, hidrocarburos, entre otros, este estudio de investigación se ha enfocado en analizar la distribución espacial del comportamiento a largo plazo de variables clave, como consumo, producción y reservas energéticas. Estas variables conforman el Balance Nacional de Energía [6]. La tasa de aumento anual del consumo de energía a nivel global está aumentando a una velocidad de entre el 2% y el 3% [3], contando a los hidrocarburos y el carbón como sus partes principales [8]. En Perú, los recursos energéticos probados se distribuyen de la siguiente manera: el gas (Camisea) representa el 43% de la energía comercial, la hidroenergía el 23,1%, los líquidos de gas natural el 14,7% y otros constituyen el 19,2%, según el Balance Energético Nacional de 2021 [7]. El saldo comercial energético en Perú es desfavorable, con una disminución en la producción de petróleo en los últimos años y un aumento en la producción de gas y líquidos de gas [7]. Camisea representa el proyecto de gas más significativo en Perú, donde la construcción de una planta de licuefacción está facilitando la exportación y allanando el camino para la futura instalación de industrias petroquímicas fundamentales [7]. El

gas desempeñará un papel crucial en la transformación de la matriz energética de Perú.

Además, se pueden emplear ciertas técnicas, como las regresiones lineales simples, para llevar a cabo esta proyección [2], sin embargo, el inconveniente de este método es que no tiene en cuenta las posibles fluctuaciones que puedan ocurrir a lo largo del tiempo. Por otra parte, también hay varias herramientas de software disponibles que podrían ser útiles para generar una proyección del Balance Energético Nacional (BEN) [3], Estas herramientas emplean una variedad de técnicas y algoritmos, tales como la minería de datos con Excel, redes neuronales, Mínimos Cuadrados Ordinarios, aproximaciones, entre otros. Una de las herramientas más comúnmente utilizadas en la planificación y proyección energética es el LEAP [4]. Este software utiliza un año inicial como referencia y necesita que se introduzcan los datos del Balance Energético Nacional (BEN) en el modelo. Fue creada por el Stockholm Environment Institute de Boston y es principalmente un modelo ambiental de tipo demand-driven, que se basa en la elaboración de escenarios energéticos [4].

En este estudio se propone una metodología combinada para prever el Balance Energético Nacional (BEN), que integra técnicas de modelos difusos y redes neuronales, conocida también como enfoque híbrido. Se contrastan los resultados obtenidos con esta metodología híbrida con aquellos generados por la herramienta LEAP [4], con el objetivo de evaluar su fiabilidad. Actualmente, la proyección del BEN se realiza de manera empírica mediante herramientas estadísticas básicas. Este estudio busca mejorar dicha metodología de proyección a corto y medio plazo, ofreciendo una alternativa más precisa y confiable. Además, se plantea la posibilidad de extender este enfoque a otros balances energéticos, como los regionales, siempre y cuando mantengan una estructura estándar, como la propuesta por Wassily Leontief, también conocida como matriz de Insumo-Producto [1].

Entre los hallazgos y contribuciones de este estudio, podemos resaltar:

- La recopilación de datos del Balance Energético Nacional (BEN) desde la década de 1970 (año base 0) ha sido completada, transformando esta información en un formato digital accesible para su uso en futuras investigaciones.

- Se ha verificado que el rendimiento del modelo híbrido es satisfactorio en la predicción de períodos breves, lo que proporciona una perspectiva más inmediata de las proyecciones.

- En cuanto a la predicción a largo plazo, se evidencia que las herramientas estadísticas, como las empleadas por LEAP, resultan más apropiadas. Esto se debe a que dichas proyecciones pueden verse influenciadas por factores externos que afectan la demanda y producción de energía [4].

Se han considerado los sectores económicos peruanos que requieren energía, siguiendo la estructura delineada por el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) para el Balance Nacional de Energía. Estos sectores son [7]:

- El sector del transporte comprende el consumo de energía de todos los servicios de transporte, tanto públicos como privados, tanto a nivel nacional como internacional, que abarcan diversos medios y modos de transporte de pasajeros y mercancías, ya sea terrestre, aéreo o marítimo [5].

- El sector industrial engloba el consumo de energía de todas las actividades industriales y para todos los usos, excluyendo el transporte de mercancías, el cual está categorizado dentro del sector transporte [5].

- El sector residencial abarca todos los consumos de energía destinados a cubrir las necesidades domésticas, como la cocción, la iluminación, la refrigeración, entre otras, tanto para hogares urbanos como rurales [5].

- El sector agropecuario/pesquero/minero comprende la energía utilizada en actividades relacionadas con la obtención de materias primas, como la agricultura, la ganadería, la pesca y la extracción de minerales [5].

- El término "Consumo Propio" se refiere al uso interno de energía en la producción y transporte mediante conductos de las fuentes primarias y secundarias de energía [5].

- El sector "Otros" engloba todos los consumos de energía relacionados con la construcción, obras civiles y cualquier otro consumo energético que no pueda ser clasificado dentro de las categorías mencionadas anteriormente [5].

La tabla I exhibe la distribución detallada del consumo final en diferentes usos, lo cual resulta crucial para calcular los consumos energéticos en función de la energía aprovechable.

TABLA I
RELACIÓN ENTRE LA DESAGREGACIÓN ADOPTADA POR CADA SECTOR Y LOS USOS BÁSICOS

Sector	Categorías	Formas
Transporte	Fuerza Mecánica	
Industrial	Calor	☞ Vapor ☞ Calor directo
	Fuerza Mecánica	☞ Fuerza mecánica ☞ Refrigeración ☞ Transporte
	Iluminación	☞
	Otros	☞ Materia prima ☞ Electrólisis ☞ Otros usos
Residencial, Comercial, Servicio Público	Calor	☞ Calefacción ☞ Cocción ☞ Calentamiento de agua
	Fuerza mecánica	☞ aire acondicionado ☞ ventilación ☞ refrigeración ☞ fuerza mecánica
	Iluminación	☞
	Otros	☞ materia prima ☞ electrólisis

		↻ otros usos
Agro-pesca-minería	Calor	↻ Calor directo ↻ vapor
	Fuerza mecánica	↻ bombeo de agua ↻ riego ↻ refrigeración ↻ fuerza mecánica
	Iluminación	↻
	Otros	↻ electrólisis ↻ otros usos
Consumo propio	Calor	↻ Calor directo ↻ vapor
	fuerza mecánica	↻ transporte ↻ refrigeración ↻ fuerza mecánica
	Iluminación	↻
	Otros	↻ electrólisis ↻ otros usos
Otros	Fuerza motriz, calor, iluminación	

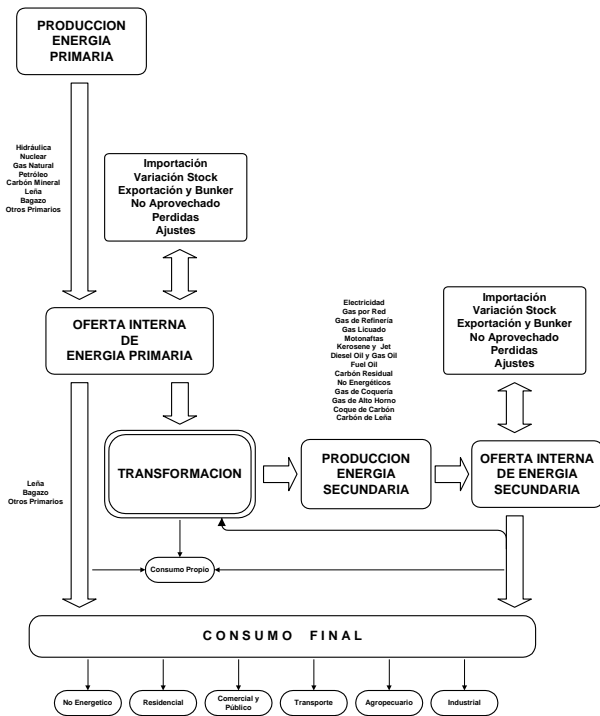


Fig. 1. Estructura general y principales flujos energéticos

En la figura 1, podemos observar el flujo de los diferentes componentes del Balance Nacional de Energía, desde la producción energética, la transformación y la demanda energética de los diferentes sectores económicos [5].

Por otro lado, en la figura 2, se aprecia la estructura de construcción del Balance Nacional de Energía, considerando los componentes que se establecieron en la figura 1.

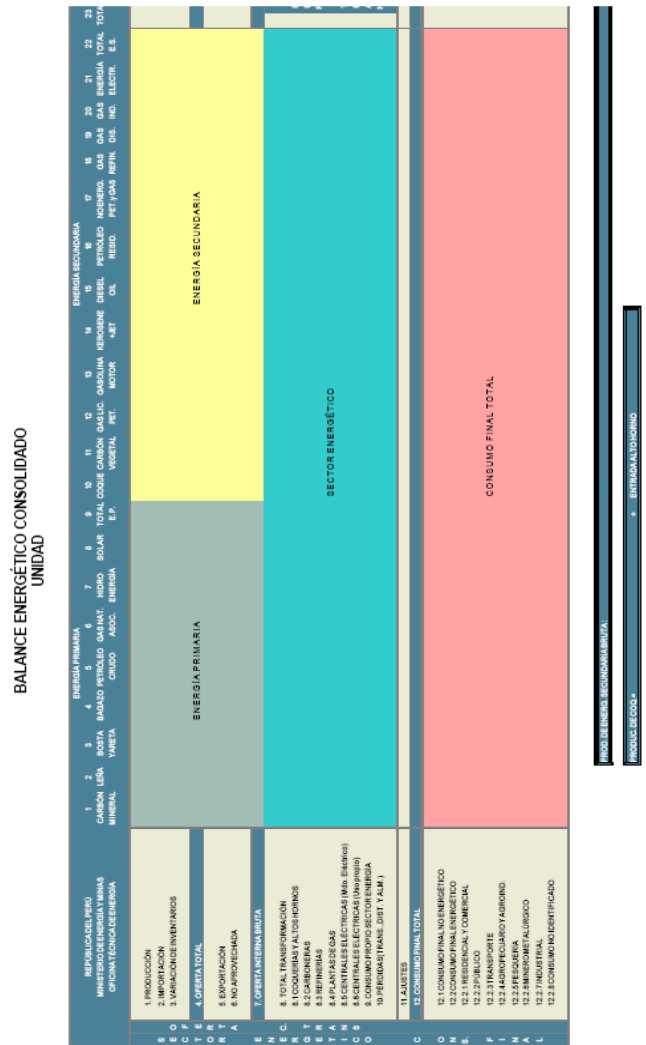


Fig. 2. Balance Nacional de Energía consolidado del Perú

En color plomo se puede apreciar todo lo referente a la producción de energía primaria, color amarillo se refiere a los vectores energético o también denominada energía secundaria, en color celeste es la cuantificación de la transformación energética y finalmente el color rosado establece todo lo referente al consumo energético de los diferentes sectores económicos establecidos en el Perú.

II. METODOLOGÍA

MATLAB tiene una herramienta llamada ANFIS que te ayuda a trabajar con lógica difusa. Te permite ajustar las "funciones de pertinencia" (que definen cómo un valor se "asocia" a una

categoría difusa) y crear las "reglas difusas" (que unen las entradas con las salidas). Además, ANFIS tiene una interfaz gráfica que te facilita configurar el sistema, como un asistente, para que puedas usarlo sin escribir mucho código [2].

El estudio utilizó la técnica "gridpartition" para agrupar datos similares del sistema a modelar en diferentes clases. Tras definir los parámetros iniciales del sistema fuzzy (número y tipo de funciones de pertinencia para entradas y salida), se estableció el número de iteraciones del entrenamiento y el error mínimo aceptable [1]. Existen dos criterios principales para determinar, cuándo finalizar el entrenamiento de un sistema ANFIS [2].

Una vez que se han definido las características del sistema ANFIS, como el tipo de funciones de pertinencia, el número de reglas y el algoritmo de entrenamiento, comienza el proceso de entrenamiento [1], si bien ANFIS es una herramienta poderosa para la modelización de sistemas difusos, es importante tener en cuenta sus limitaciones al elegirlo como herramienta de modelización [10].

2.1. Toolbox Fuzzy Logic en el Matlab

El entorno de MATLAB ofrece la capacidad de visualizar y ajustar sistemas difusos, una necesidad que puede ser abordada utilizando el toolbox de Lógica Difusa [10]. Las diferentes ventanas que integran el sistema difuso son accesibles a través de las opciones "Editar" y "Ver" en el menú principal de la ventana de edición ANFIS.

El editor FIS facilita la comprensión y el manejo del sistema fuzzy, una herramienta invaluable [10]. El sistema de inferencia difusa puede ser construido utilizando el enfoque ANFIS, lo que implica que la adaptación de las funciones de pertinencia y la formulación de las reglas son determinadas por ANFIS [15]. Esta interfaz también ofrece la opción de configurar las operaciones lógicas AND y OR en los antecedentes, junto con la selección del método de implicación, agregación y defuzzificación [16].

El editor de funciones de pertinencia te permite crear y ajustar sistemas fuzzy con precisión y flexibilidad [16]. Te permite visualizar las funciones de pertinencia de entrada y salida, ofrece un editor de reglas para adicionar, modificar, apagar o ignorar reglas [18]. Las reglas del Sistema Fuzzy compuesta por cuatro condiciones y una acción, el visualizador de reglas muestra las reglas de forma gráfica, las reglas son la base del sistema fuzzy y el visualizador de reglas te permite comprender y mejorarlas [16].

Esta Herramienta Fuzzy Logic Toolbox de MATLAB. Permite visualizar las superficies de salida del sistema fuzzy, Genera una representación tridimensional que ilustra el mapeo de las variables de entrada del sistema, se pueden seleccionar dos

entradas a la vez para visualizar la superficie. Las demás entradas se consideran constantes [10].

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Es crucial resaltar el consumo total de energía de cada sector para brindar una visión más completa de la situación energética en el Perú. Por lo general, el principal tipo de energía consumida en distintos sectores económicos es el de los hidrocarburos, especialmente en áreas como el transporte, la industria y la minería. Por otro lado, sectores como el residencial, comercial y público tienen consumo importante de electricidad, especialmente en las áreas urbanas [4].

El análisis por sector revela la dependencia del Perú de los hidrocarburos: principal fuente de energía en sectores como transporte, industria y minería. La importancia de la electricidad en áreas urbanas, especialmente en sectores residenciales, comercial, y público.

El examen sectorial muestra que el Perú está altamente ligado a los hidrocarburos, que representan la fuente primaria de energía en segmentos clave como el transporte, la industria y la minería. Además, se destaca la relevancia de la electricidad en zonas urbanas, especialmente en ámbitos residenciales, comerciales y públicos [4].

En las áreas rurales, la leña, desechos de animales y yareta tienen una gran participación en relación con los demás energéticos, como se puede observar en el Balance Nacional de Energía [4]. Es importante señalar que, en los últimos años, los sectores residencial, comercial y público han experimentado un aumento significativo en su participación en el consumo final de energía.

En las zonas rurales, se nota una significativa utilización de leña, desechos de animales y yareta en proporción a otras fuentes de energía, tal como se registra en el Balance Nacional de Energía [4]. Es importante señalar que, en los últimos años, los sectores residencial, comercial y público han experimentado un aumento en su consumo final.

El consumo definitivo total de energía registró un incremento del 2.88% en el año 2019 con respecto a 2018. Es fundamental disponer de otras opciones energéticas para ciertos sectores, Específicamente aquellos que están mayormente basados en fuentes de energía primaria como el transporte, la industria y la generación eléctrica. Estos sectores suelen tener una eficiencia baja y generar emisiones significativas de contaminantes, lo que contribuye al aumento del efecto invernadero [5].

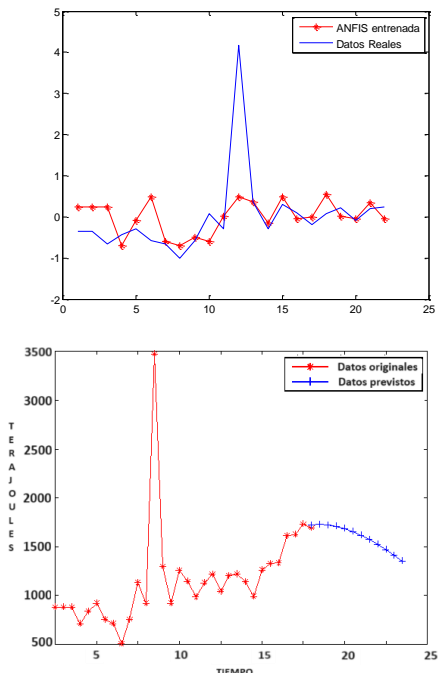
En el Balance Nacional de Energía del Perú se evidencia que los sectores residencial, comercial y público son los que más consumen energía [4], lo que indica que las políticas energéticas enfocadas en energéticos alternativos y gas natural

deben priorizar estos sectores, poniendo especial atención en cambiar el consumo final. Por consiguiente, proponemos una innovadora opción energética para estos ámbitos: la implementación de nano redes en corriente continua. En contraste, Las industrias, la minería, la metalurgia y el transporte vehicular son los sectores que requieren en mayor medida petróleo y sus productos derivados. Esto sugiere que existe un alto potencial para que energéticos alternativos y gas natural puedan sustituir estos combustibles en dichos sectores económicos que consumen una gran cantidad de energía [5].

A. Consumo Final de Coque

En la figura 3.a, Se presenta la capacitación realizada por el modelo híbrido ANFIS, en comparación con la información real obtenidos del Balance Nacional de Energía referentes al consumo de coque como fuente energética.

Así mismo, se presenta en la figura 3.b. La visión futura que ofrece este modelo híbrido indica una disminución en la utilización de coque, Quizás esto se debe a que la industria peruana está dirigiendo su atención energética hacia el uso del gas natural. Esto se debe a los recientes hallazgos en los lotes 56 y 57 en Pagoreni, ubicados muy cerca de las reservas del lote 88 de Camisea.

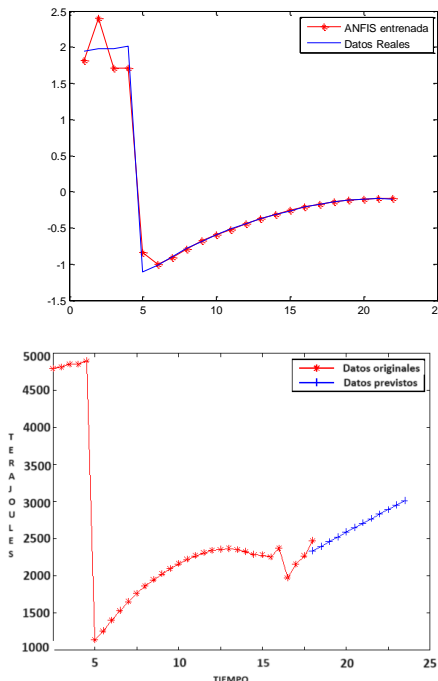


Entrenamiento de la red, Proyección de la red

Fig. 3. Previsión del consumo de coque

B. Consumo Final de Carbón Vegetal

En la figura 4.a, Se examina la tendencia anual del uso de carbón vegetal, un recurso alternativo empleado por pequeñas industrias en el Perú. Aunque su comportamiento es altamente variable, según el Balance Nacional de Energía peruano, el modelo híbrido ANFIS ha logrado captar y entrenarse de manera bastante precisa con respecto a los datos reales. De hecho, la proyección indicada sugiere un aumento constante en la demanda de este tipo de combustible, tal como se puede apreciar en la figura 4.b.



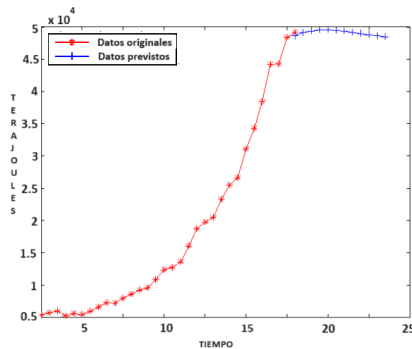
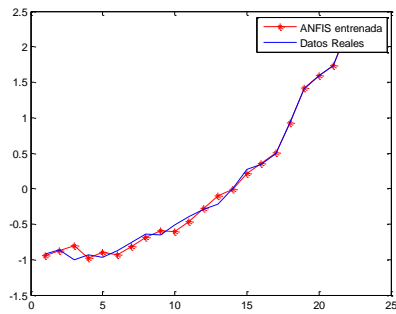
Entrenamiento de la red, Proyección de la red

Fig. 4. Previsión del consumo de carbon vegetal

C. Consumo Final de Gas Licuado de Petróleo

Según el Balance Nacional de Energía de Perú, el uso final de hidrocarburos abarca una gama de productos que incluyen gas licuado de petróleo (GLP), gasolina de diferentes octanajes (84, 90 y 95), kerosene, diésel, petróleo residual, gas distribuido y gas industrial.

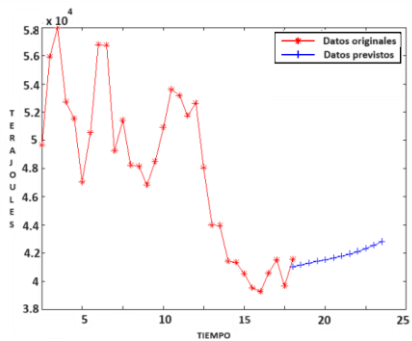
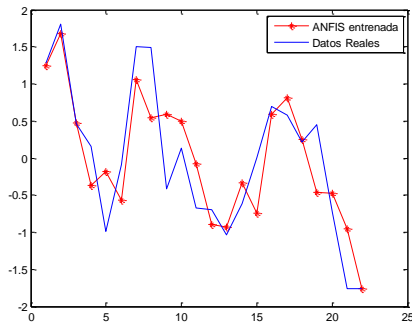
En la figura 5.a, Se muestra la utilización de Gas Licuado de Petróleo (GLP), el cual se deriva tanto del petróleo como del gas natural. Los principales sectores consumidores de GLP son los residenciales y vehiculares, principalmente. En los últimos años, el GLP ha experimentado una amplia aceptación debido a su mayor eficiencia, seguridad y menor costo en comparación con la electricidad, el kerosene y otras fuentes energéticas. En la figura 5.b, se muestra el comportamiento prospectivo de este energético según los datos del Balance de Energía del Perú.



Entrenamiento de la red, proyección de la red

Fig. 5. Previsión del consumo de GLP
D. Consumo de Gasolina

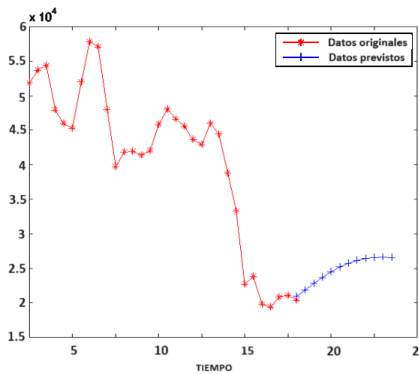
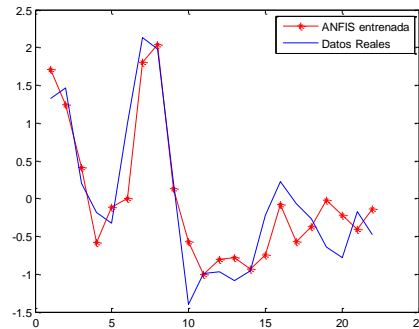
En la figura 6.a, Se nota un patrón recurrente en la utilización de gasolina, tanto en los datos reales como en el capacitacion del modelo híbrido ANFIS.



Entrenamiento de la red, proyección de la red
Fig. 6. Previsión del consumo de gasolina

Por otro lado, la proyección hecha por el modelo ANFIS muestra una tendencia a la baja, explicada por la reducción en el mercado de automóviles con motores a gasolina. En contraposición, se observa un aumento en la demanda de vehículos con motores a diésel, GLP y gas natural. La incorporación del gas natural de Camisea y el GLP en el mercado energético ha contribuido a este ciclo en el consumo de gasolina.

E. Consumo Final de Kerosene



Entrenamiento de la red, proyección de la red

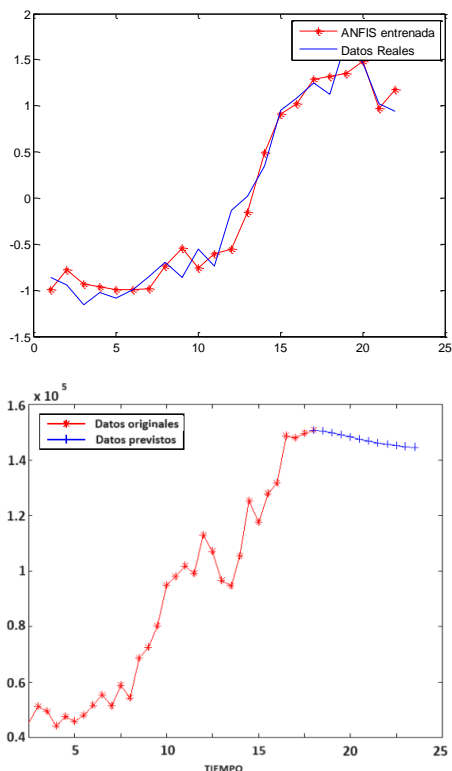
Fig. 7. Previsión del consumo del kerosene

La figura 7.a, Se nota una clara tendencia decreciente en el consumo de kerosene en los diversos sectores económicos contemplados en el Balance Nacional de Energía. Es importante destacar que esta disminución se atribuye principalmente a la sustitución del kerosene por GLP en gran medida en el sector residencial.

Además, a partir del año 2008, el gobierno peruano ha implementado una prohibición en la comercialización de kerosene, debido a que este combustible también se utiliza como insumo en la producción de pasta básica de cocaína. En ese sentido, a partir de ese año no se registra información de la producción y consume de kerosene. Pero nuestro modelo realiza una propección no estaría sujeta a la realidad.

F. Consumo Final de Diesel

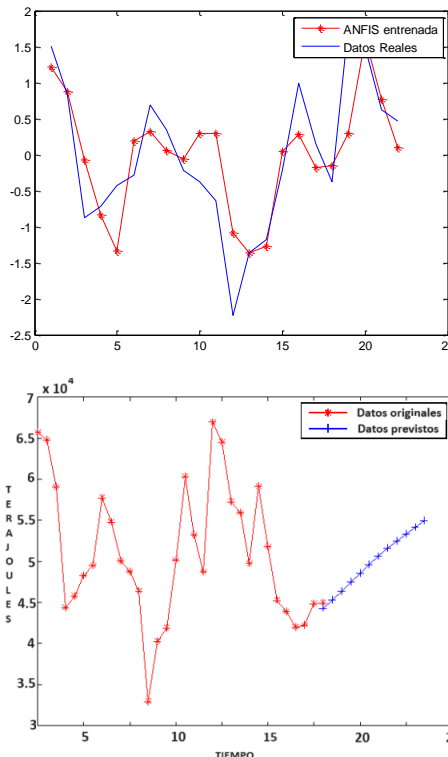
Según el Balance Nacional de Energía, este tipo de combustible es utilizado por todos los sectores económicos que requieren energía. Además, se destaca que el diésel y el petróleo residual son los más solicitados en el mercado peruano, representando aproximadamente un tercio del consumo total de energía en el año 2009, que alcanzó los 151,433 TJ. El gráfico híbrido mostrado en la figura 6.31 ilustra la tendencia ascendente en la demanda de energía secundaria proveniente del diésel.



Entrenamiento de la red, proyección de la red
Fig. 8. Previsión del consumo de diesel

G. Consumo Final de Petróleo Residual

Se trata de los subproductos resultantes de la refinación del petróleo, que abarcan todos los productos de mayor densidad. Suele ser utilizado en calderas, centrales eléctricas y en la navegación. El consumo de energía, que es motor del desarrollo económico, también evidencia signos de recuperación. Los precios del combustible búnker han alcanzado niveles récord en los últimos años, lo que indica un aumento en la demanda por parte de los usuarios industriales. Este combustible, conocido como petróleo residual, es el más económico entre los líquidos y no se negocia como un activo financiero, a diferencia del crudo o el gas natural. Tal es así, que nuestro modelo realizar una prospección creciente, tal como se muestra en la figura 9.b.

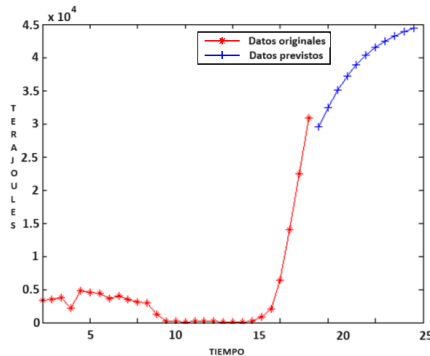
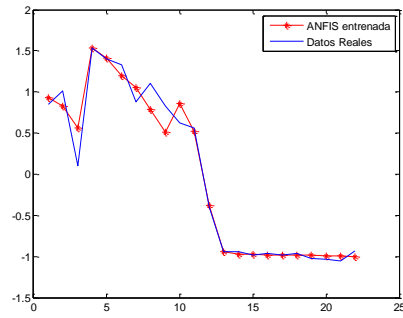


Entrenamiento de la red, proyección de la red
Fig. 9. Previsión del consumo de petróleo residual

H. Consumo Final de Gas de Distribución

Un sistema de gas está constituido por una variedad de instalaciones y dispositivos creados para dirigir el transporte del gas desde su extracción hasta los lugares de consumo. El gas se desplaza a través de conductos, que son conocidos como gasoductos o líneas de distribución y recolección de gas. Los tamaños de estos conductos varían según la cantidad de gas que se transporte y la presión necesaria para su transmisión. La longitud de los gasoductos puede extenderse desde distancias cortas de unos cientos de metros hasta largas travesías de miles de kilómetros, dependiendo de su origen y destino final.

La figura 10.a, muestra el comportamiento del consumo de gas de distribución. Es importante mencionar que la producción de gas natural proveniente de las reservas de Camisea comenzó en el año 2005. Por lo tanto, el consumo de este tipo de energía comenzó desde los primeros días de producción, lo que explica por qué la curva de comportamiento, analizada a través del modelo ANFIS, muestra un crecimiento razonable a pesar de la disponibilidad limitada de datos. Esto se debe a que este tipo de energía es relativamente nuevo en el mercado peruano y, por lo tanto, en el Balance Nacional de Energía.

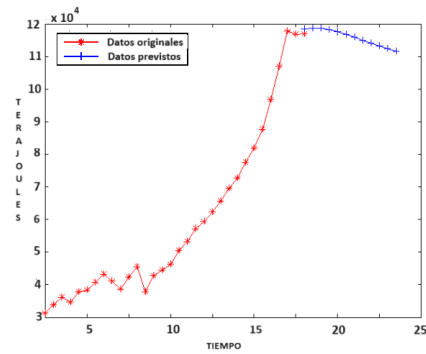
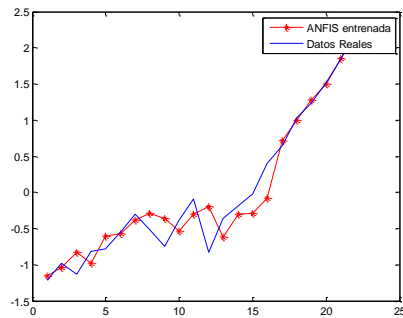


Entrenamiento de la red, proyección de la red
Fig. 10. Previsión del consumo de gas distribuido

I. Consumo Final de Electricidad

Los datos sobre el consumo de electricidad se derivan de las ventas realizadas por las empresas eléctricas y se recopilan y registran en la Dirección General de Electricidad.

Este vector energético es el más importante en el mercado energético peruano y el Balance Nacional de Energía. Proviene de las diferentes fuentes de energía primaria que cuentan con centrales térmicas en ciclo simple, centrales térmicas en ciclo combinado, centrales hidráulicas, centrales solares, centrales eólicas y centrales a partir de residuos urbanos.



Entrenamiento de la red, proyección de la red
Fig. 11. Previsión del consumo de energía eléctrica

J. Sistema Fotovoltaico tipo Nanored en Corriente Continua

Los sistemas de distribución de corriente continua han ido ganando terreno en las discusiones académicas por su gran capacidad de integración con fuentes de generación distribuida [12], especialmente la solar fotovoltaica, así como por una mayor facilidad para implementar acciones de control y un mejor desempeño desde el punto de vista de la eficiencia energética [13]. En el Perú, el uso de sistemas fotovoltaicos individuales se justifica como una alternativa viable a la sustitución de grupos electrógenos a diésel o gasolina, utilizados habitualmente para generar electricidad en comunidades aisladas [14]. Sin embargo, estos sistemas se pueden utilizar mejor en una estructura de distribución de energía de corriente continua (CC) abierta. El objetivo de esta propuesta es desarrollar una nanored de distribución de CC. aplicado a zonas urbanas y rurales del Perú, como una forma más eficiente y económica en aplicaciones fotovoltaicas en el suministro de electricidad a estos lugares [19].

En la figura 12, se presenta una estructura abierta de un sistema de distribución de energía tipo nanored de corriente continua (NDCC) [11], el cual está interconectado, diferentes generadores fotovoltaicos con diferentes cargas o usuarios del lugar donde se abastecerá de energía.

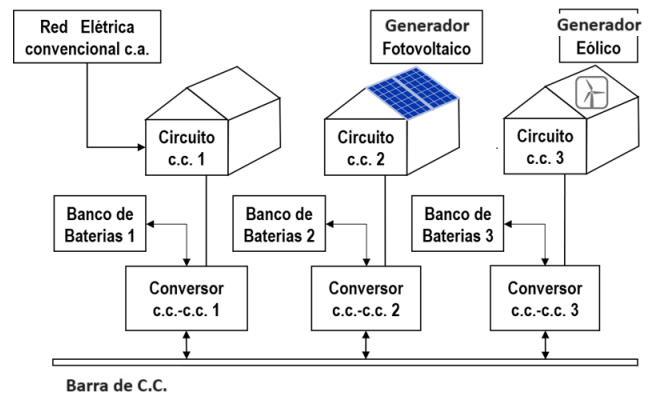


Fig. 12. Sistema de distribución de energía utilizando la tecnología de Sistema de Nanoredes en Corriente Continua (NDCC)

IV. CONCLUSIONES

Un examen de los resultados y descubrimientos de los temas investigados conduce a diversas conclusiones importantes que merecen ser resaltadas en este trabajo:

1. Utilizando el modelo híbrido, se ha determinado que las estimaciones de la demanda de energéticos, basadas en el Balance Nacional de Energía, ofrecen resultados más precisos en el corto plazo. El principio fundamental de las redes neuronales es emular el proceso de razonamiento y aprendizaje humano mediante un entrenamiento iterativo que se basa en ejemplos o “patrones”. Mediante esta metodología de proyección, se realizó un análisis para la producción de energía primaria, consumo final de energía secundaria, oferta energética y finalmente la proyección de la demanda de energía secundaria.

2. La metodología desarrollada para elaborar el Balance Nacional de Energía del Perú, es según la matriz Insumo-Producto de Leontief. Dicha metodología permite cuantificar e identificar fácilmente la condición de cada uno de los energéticos que se tiene en el Perú. Dichos energéticos pueden ser clasificados según la producción, exportación, importación, transformación y el consumo.

3. Según los resultados del modelo híbrido y el análisis de otras variables no establecidas directamente en el Balance Nacional de Energía del Perú. Se ha podido determinar que el crecimiento demográfico, problemas sociales, problemas medioambientales, PBI, inflación y el nivel de inversión extranjera influyen fuertemente en la tendencia y comportamiento de los energéticos establecidos en el BNE de Perú.

4. Dentro de los diferentes modelos energéticos para realizar proyecciones, en el presente trabajo de investigación se optó por el modelo híbrido neuro- difuso. Dicho modelo simula el proceso de razonamiento y aprendizaje humano al realizar un entrenamiento iterativo utilizando ejemplos o patrones. Un gran ventaja de este enfoque es su capacidad para modelar relaciones no lineales de manera autónoma.

5. El modelo híbrido adoptado en el presente trabajo (neuro – difuso), por sus características, Primero, se lleva a cabo la fusión de todas las entradas, se identifican las reglas activadas y se calculan los valores individuales utilizando las funciones de salida correspondientes. Luego de obtener estos valores de salida, se procede a realizar la ponderación entre ellos para producir una respuesta final.

6. La validación y evaluación del modelo híbrido, se ha realizado para la Producción de Energía Primaria (carbón, leña, bosta & yareta, bagazo, petróleo, gas natural y electricidad), Consumo Final de Energía Secundaria (coque, carbón vegetal,

GLP, gasolina, kerosene, diésel, petróleo residual, gas de distribución, gas industrial y electricidad), Oferta Energética y Demanda Energética. Los datos fueron analizados para el BNE caso Perú, donde puede observarse una respuesta del modelo aceptable según la tendencia histórica y el grado de error que se obtuvo.

7. Con la aplicación del modelo híbrido neuro-difuso, y según los resultados obtenidos. Es posible mejorar la proyección, pero hay que tener en consideración que el grado de error de las proyecciones son debido a factores externos que afectan la tendencia y el comportamiento en cuanto a consumo, demanda, producción y transformación de energéticos. Cabe indicar, que las aproximaciones de las proyecciones que tienen menor grado son las de corto plazo, lo cual es una de las características de los modelos híbridos neuro difusos.

8. La propuesta de desarrollar en zonas urbanas y rurales el sistema fotovoltaico tipo nanored en corriente continua, es una nueva alternativa energética que ayudará a diversificar la matriz energética en un mediano plazo, en caso se tomen acertadas decisión y políticas energéticas en el Perú.

RECONOCIMIENTO

Este estudio es gracias al apoyo del Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Nacional del Altiplano – Puno. Además, producto del incentivo y formación de investigadores RENACYT y FEDU en la mencionada universidad.

REFERENCIAS

- [1] Abdel-Aal, R.E. (2007). Univariate Modeling and Forecasting of Monthly Energy Demand Time Series Using Abductive and Neural Networks, *Computers & Industrial Engineering*. Vol 54, pp. 903-917.
- [2] Connolly, D. and Lund, H. and Mathiesen, B.V. and Leahy, M.(2010), A review of computer tools for analysing the integration of renewable energy into various energy systems. *Applied Energy*. Elsevier. Vol. 87, Nro. 4, pp. 1059-1082.
- [3] EIA (2006), *World Consumption of Primary Energy by Energy Type and Selected Country Groups, 1980-2004* (XLS). Energy Information Administration, U.S. Department of Energy (July 31 2006). <http://www.eia.doe.gov/pub/international/iealf/table18.xls>
Consultado el 01-08-2012
- [4] Heaps, C.G. (2012). Long-range Energy Alternatives Planning (LEAP) system. [Software version 2012.0014] Stockholm Environment Institute. Somerville, MA, USA. www.energycommunity.org
- [5] MINEM (2021). Balance Nacional de Energía 2020, Ministerio de Energía y Minas de Perú, Gobierno Peruano. Febrero 2024. <http://www.minem.gob.pe/estadisticasSector.php?idSector=12>
Consultado el 1-01-2024.
- [6] MINEM (2020). Balance Nacional de Energía 2019, Ministerio de Energía y Minas de Perú, Gobierno Peruano. Febrero 2024. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1875333/Balance%20Nacional%20de%20la%20Energ%C3%ADa%202019.pdf?v=1620784938>
Consultado el 01-01-2024.
- [7] MINEM (2019). Balance Nacional de Energía 2018, Ministerio de Energía y Minas de Perú, Gobierno Peruano. Febrero 2024. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1875363/Balance%20Nacional%20de%20Energ%C3%ADa%202018.pdf?v=1620785097>
Consultado el 1-01-2024.

- [8] MME (BASE 2021). Balanco Energetico Nacional 2021- Brasil, Volumen 1. Ministerio de Minas e Energia – Secretaría de energia – DNDE/SEN /MME.
- [9] Morante, F. (2000). Demanda energética em solar homsystems. Dissertacao de mestrado, Instituto de Electrotecnica e Energia – Universidade de Sao Paulo (Brasil).
- [10] Robbins M. (2023). Quantitative Asset Management: Factor Investing and Machine Learning for Institutional Investing. Editorial: McGraw-Hill
- [11] TON, D. T.; SMITH, M. A. The U.S. Department of Energy’s Microgrid Initiative. The Electricity Journal, v. 25, n. 8, p. 84–94, 2012.
- [12] TORRES, P. F.; COSTA, T. O.; ARAÚJO, L. F.; VIEIRA FILHO, J. A. A.; WILLIAMSON, S. J.; MACÉDO, W. N.. Solar Photovoltaic-based DC Nanogrid Testing under Real-World Operating Conditions. Aceito no 10th International Conference on Power Electronics, Machines and Drives. 2020.
- [13] TORRES, P. F. Desenvolvimento e Modelagem de uma Nanorrede de Distribuição em Corrente Contínua em Baixa Tensão com Sistemas de Geração Distribuída, 2019. Dissertação de Mestrado, Belém, Brasil: Universidade Federal do Pará.
- [14] WORLEYPARSONS. WorleyParsons awarded microgrid project by the University of Toronto. Disponível em: <<https://www.worleyparsons.com/news/2019/feb-toronto-microgrid-project>>. Acesso em: 24/7/2019.
- [15] Yang, H.Y., Ye, H. Wang, G., Khan, J. Hu, T (2006). Fuzzy Neural Very-Short- Term Load Forecasting Based on Chaotic Dynamics Reconstruction. Chaos Solutions&Fractals, vol 29, pp. 462-469.
- [16] Yap, K.S., Abidin, I.Z. (2006). Short term Load Forecasting Using a Hybrid Neural Network, First International Power and Energy Conference PECon, pp. 123-128.
- [17] Zadeh.L.A. (1965). Fuzzy Sets, Information and Control, vol 8, pp. 338-353, Junio de 1965.
- [18] Zadeh, L.A. (1973). Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decisión Processes, IEEE Transactions on Systemas, Man and Cybernetics, vol SMC-3, pp 28-44, Enero 1973.
- [19] ZHANG, F.; MENG, C.; YANG, Y.; et al. Advantages and challenges of DC microgrid for commercial building a case study from Xiamen university DC microgrid. 2015 IEEE First International Conference on DC Microgrids (ICDCM), p.355–358, 2015