



ANÁLISIS DE PROGRAMAS DE USO RACIONAL Y EFICIENTE DE LA ENERGÍA EN MICRORREDES AISLADAS ALREDEDOR DEL MUNDO APLICACIÓN EN COLOMBIA



Santiago Bedoya Sánchez¹, Juan Felipe García Franco², Cesar Arango Lemoine³, Sandra Ximena Carvajal Quintero⁴

Resumen

El objetivo del artículo es identificar Programas de Uso Racional y Eficiente de la energía y gestión de la demanda en redes aisladas alrededor del mundo, con el fin de evaluar la aplicabilidad en las Zonas No Interconectadas (ZNI) en Colombia.

La motivación de este análisis fue la necesidad de reducir impactos adversos en el ambiente y en las redes eléctricas, debido a consumos exagerados en las ZNI colombianas. La metodología considera una visión holística, contextualizada en la aplicación y experiencia de redes aisladas alrededor del mundo, que permitió relacionar e identificar problemas comunes y potenciales soluciones aplicables a la dinámica de las ZNI.

El procedimiento se enfocó en analizar una muestra de 10 países ubicados en diferentes continentes, con el fin de obtener una matriz DOFA (Dificultades, Oportunidades, Fortalezas y Amenazas). La matriz abordó la temática desde dos perspectivas de influencia: la primera engloba factores externos que corresponden tanto a las oportunidades como las amenazas que se presentan en el entorno de las redes aisladas estudiadas, y la segunda que, de manera similar, analiza los factores internos que corresponden a las dificultades y fortalezas de estas mismas redes. A partir de la matriz DOFA, se propusieron estrategias para la ZNI que incluyen aspectos de operación, resiliencia y autosostenibilidad del sistema eléctrico de dichas zonas aisladas. Los resultados más relevantes del artículo son la integración de la demanda en la participación de las políticas de gestión energética ProURE, con el fin de redundar en la confiabilidad y calidad del servicio a partir de la optimización de los recursos energéticos y la concientización de la población objetivo.

Palabras clave: Microrredes Aisladas, ProURE, ZNI.

¹ Candidato a maestría en Ingeniería – Ingeniería Eléctrica, Universidad Nacional de Colombia, estudiante, sabedoyasa@unal.edu.co.

² Candidato a maestría en Ingeniería – Ingeniería Eléctrica, Universidad Nacional de Colombia, tesista, jufgarciafr@unal.edu.co.

³ Magister en Ingeniería Eléctrica, Universidad Nacional de Colombia, Docente, carangol@unal.edu.co.

⁴ Doctora en Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Docente, sxcarvajalq@unal.edu.co.



Introducción

En Colombia, existen comunidades apartadas de los grandes centros poblados debido a sus características geográficas; estas poblaciones, plantean retos de inclusión para la reivindicación y equiparación de sus derechos con los de todo el país, entre ellos, el derecho al suministro confiable y eficiente de la energía eléctrica [1], con la necesidad de que la perspectiva técnica tenga un verdadero impacto social por medio de la participación de las comunidades.

En el caso Colombiano, estas poblaciones cuentan con ciertas singularidades técnicas debido a que no poseen la infraestructura eléctrica con la robustez que caracteriza al sistema interconectado nacional (SIN) y es inviable la expansión de la red debido a obstáculos naturales [2], por tanto, se desprenden múltiples desafíos de ingeniería en la búsqueda de plantear soluciones viables que redunden en proporcionar el servicio de electricidad de manera confiable a partir de la optimización de los recursos, y que además, pueda mitigar el impacto económico y ambiental para poder potenciar desarrollo sostenible en las comunidades de la red en la Zona No Interconectada (ZNI) colombiana.

Escenarios alrededor del mundo muestran que las redes aisladas se caracterizan por la alta emisión de gases debido a que, en su gran mayoría, dependen de los combustibles fósiles como fuentes primarias de generación de la energía eléctrica, lo que representa una oportunidad de incentivar la contribución a la mitigación del cambio climático a partir de la disminución de emisiones de gases, reconociendo la vulnerabilidad para el desarrollo de los países a raíz de esta problemática [4], y asumiendo posturas críticas que permitan gestionar desarrollo a partir de la racionalización del consumo energético.

Este artículo busca modelar entornos favorables para la proposición y vinculación de Programas de Uso Racional y Eficiente de la energía (ProURE) de las zonas aisladas como solución viable y efectiva al crecimiento de la demanda, evaluando y articulando políticas de gestión a partir de la experiencia internacional en redes aisladas, que permita cualificar el impacto social haciendo un diagnóstico mediante la matriz DOFA (dificultades, oportunidades, fortalezas y amenazas), que a su vez, pueda brindar soluciones sostenibles a la problemática de alto consumo y poca oferta de generación del caso de la ZNI Colombiana, tomando en cuenta que estas microrredes representan el desarrollo económico y social con gran impacto en áreas como la educación y la salud para estas regiones apartadas.



Metodología

Se propone un análisis conceptual del panorama energético en zonas remotas alrededor del mundo mediante la implementación de la matriz DOFA, con el objetivo de hacer una extrapolación al caso colombiano. Se aborda desde el reconocimiento de aspectos internos y externos en la continua gestión de políticas de mayor impacto, inherentes a la problemática de alto consumo e impacto ambiental en la dinámica energética la ZNI colombiana; por este motivo, es oportuna la utilización de herramientas cualitativas, fundamentadas en un análisis multicriterio que permitan visualizar el potencial de cambio e impacto social, económico y ambiental a partir de ProURE desde una perspectiva crítica y propositiva.

Localidad	Habitantes	Características de generación [19] [20]	Almacenamiento [19] [20]	Participación de la demanda		Particularidades
				Si	No	
Hartley Bay, Canada	200 ^[10]	3000 kW Gas/Diesel 900 kW Hidro	N/A	x		implementación de respuesta a la demanda
Huatacondo, Chile	50 ^[11]	150 kW Gas/Diesel 22 kW sola 3kW Eólica	170 kWh	x		Sistemas de Adquisición de Datos (SCADA)
Jeju Island, Corea del sur	688.211 ^[12]	500 kW Eólica 96 kW Solar https://www.eneridge.com/microgrids	1800 kWh	x		Sistemas de Adquisición de Datos (SCADA)
Isla de Kythnos, Gracia	1310 ^[13]	53 kW Gas/Diesel 10 kW Solar	53 kWh	x		prueba de estrategias de control centralizadas y descentralizadas para redes aislada.
Kyotango, Japon	52.725 ^[14]	400 kW Gas 250 kW MCEC 50 kW Solar 50 kW Eólica	100 kWh	x		Alta producción de energía a partir de biogás.
Pulau Ubin	2.926 ^[15]	240 kW Biodiesel 200 kW Solar Artículo singapur	60 kWh Artículo singapur	x		Sistemas de Adquisición de Datos (SCADA).
Mannheim Wallstadt	7.939 ^[16] (www.mannheim.de)	33.8 kW Solar 14.5 kW Gas/Diesel (microgridprojects.com)	5.9 kWh (microgridprojects.com)	x		Transición de edificaciones al híbrido entre generación autosustentable e interconexión a la red
isla de bornholm	40.715 ^[17]	34.000 Gas/Diesel 29.000 Eólica	N/A	x		Introducción de vehículos eléctricos.
Isla de Eigg	100 ^[18]	110 Gas/Diesel 110 kW Hidro 32 kW Eólica 24 kW Solar	212 kWh	x		Suministro total por parte de energías renovables.
isla Hailuoto	1.000 ^[8]	1500 kW Diesel 500 kW Eólica	N/A	x		Automatización de protecciones de la red en la gestión de la demanda.

Tabla 1. Información general de microrredes alrededor del mundo.



El principal problema de las redes aisladas en zonas remotas alrededor del mundo desde una perspectiva técnica es la alta dependencia de combustibles fósiles como fuentes primarias de generación y la falta de implementación de políticas de gestión energética que estimulen la integración masiva de recursos energéticos de bajo impacto ambiental. Asimismo, debe haber un compromiso contundente, más allá de los retos técnicos en la implementación de reconocer la vulnerabilidad de las comunidades que no poseen un sistema robusto que garantice, al menos, condiciones mínimas de seguridad y bienestar para dar una respuesta asertiva a las múltiples consecuencias sociales, económicas y ambientales que limitan el desarrollo. Al hacer un análisis de las microrredes estudiadas, se reconoce la participación activa de la demanda como patrón común de respuesta a la intermitencia de las fuentes de generación de energía no convencionales; además, se reconoce una clara inclinación del sector eléctrico alrededor del mundo hacia la integración masiva de energía limpia, visualizando entornos favorables desde la perspectiva de estabilidad técnica, al utilizar microrredes como puente de transición en la proposición de modelos de desarrollo sostenible y autosustentable de alto impacto económico, social y ambiental. Dentro de las particularidades se encuentra que las microrredes de la isla Bornholm en Dinamarca y la isla Jeju en Corea disponen de la implementación en paralelo de vehículos eléctricos, que no solo tienen un impacto ambiental en la disminución de emisión de gases importante, sino que al permanecer conectados a la red, sirven como soporte de estabilidad al sistema, lo que propone una solución coherente al escepticismo de la integración con alta penetración de las fuentes de energía renovables debido a los retos de garantizar condiciones técnicas mínimas favorables en la disminución de la intermitencia e incertidumbre, para permitir la operación confiable de la red.

Para las microrredes estudiadas, la construcción de la infraestructura necesaria para convertir las redes antiguas en redes inteligentes seguras e interoperables se ha vuelto una característica común; esto, se logra mediante la implementación de tecnologías de información y comunicación con la capacidad de soportar nuevos servicios que permiten gestionar, en tiempo real, soluciones a problemas transitorios de frecuencia causados por el desequilibrio entre carga y generación. En las microrredes de Huatacondo en Chile, Pulau Ubin en Singapur, la isla Bornholm en Dinamarca y la isla Eigg en Escocia, el control del uso de la electricidad se plantea partir de la concientización y participación directa de los usuarios finales; mientras que, en las microrredes de Hartley Bay en Canadá, la isla Jeju de Corea y la isla Kythnos en Grecia este control está enfocado en la gestión automática de carga de manera centralizada.

En el caso de las microrredes de Huatacondo en Chile y la isla de Bornholm en Dinamarca, se enfocan políticas de gestión de la demanda a partir de la implementación de sistemas de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA), además de un sistema capaz de gestionar la generación al menor costo posible dando prioridad a las fuentes de energía limpia mediante la diversificación del costo de electricidad; esto, se logra mediante la caracterización de horas de congestión energética lo que permite reducir la magnitud de los picos de demanda y por tanto aportar confiabilidad y calidad en el servicio. Es relevante destacar la dinámica participativa de la microrred de Huatacondo, la cual cuenta con la instalación de un “Reloj control” en cada una de las viviendas [5] que permiten proveer de información básica a los usuarios en la gestión de la demanda mediante indicadores para el reconocimiento de periodos del día donde es menor o mayor la participación de generación no convencional, debido a condiciones climáticas. De esta manera, se pueden



optimizar los recursos económicos e incentivar la reducción de tareas de alto consumo cuando se requiera del respaldo de la generación Diesel.

Por su parte, la Microred de Hartley Bay en Canadá, reconoce la importancia que proponen las pequeñas mejoras en la eficiencia de la red, por eso, dispone de un nuevo criterio de gestión efectiva de la demanda a partir de la visualización de puntos ineficientes críticos en la dinámica de operación de la red, por medio de la evaluación y análisis de información adquirida mediante la inserción de medida inteligente en el consumo energético y flujo de combustible para la generación. Un ejemplo aplicativo fue el diagnóstico mostrado con base en la curva de eficiencia de uno de los generadores; esta tendía a bajar en magnitud a medida que generaba más potencia, por tanto, se propuso el sistema de respuesta a la demanda a partir de la caracterización de los usuarios de mayor consumo, como lo pueden ser edificación de alta afluencia de personas; reduciendo, mediante la implementar termostatos variables y controladores de carga, por ejemplo, la intensidad lumínica sin afectar la seguridad y autonomía de las redes; y de esta manera, mediante el desarrollo de un algoritmo predictivo, pueda reconocer puntos críticos ineficientes y disminuir el consumo en aquellas horas pico donde el sistema está congestionado; y por tanto, se reduzca el uso del generador ineficiente [6] La proyección del mercado de energía también es aplicable en la integración de generación distribuida a microrredes que permitan un soporte de nuevos servicios proponiendo incentivos para la venta minorista de energía eléctrica. Las islas Juju y Hailuoto, integran políticas de incentivo económico que permita la instalación de energía alternativa para comercializar el excedente de energía a la red, gracias al potencial eólico y solar por la disposición del clima soleado y/o ventoso que contrastan con la constante búsqueda de optimizar y contrarrestar la limitante de áreas geográficas reducidas, problema característico de algunas zonas fuera de la red.

Resultados

Matriz DOFA aplicada al caso de la ZNI colombiana.

Con el fin de proponer estrategias objetivas en la constante búsqueda de mejoramiento, se abordan las dificultades y fortalezas actuales, que permiten visualizar problemas y proponer, mediante un análisis cualitativo multicriterio, posibles soluciones viables y coherentes a partir de una mirada holística en la extrapolación, a la ZNI colombiana, de oportunidades y posibles amenazas detectadas en el panorama internacional. Luego de plantear un estado del arte por medio de la vigilancia tecnológica realizada, se propone una oportuna extrapolación al caso de la ZNI colombiana, que permite focalizar esfuerzos en el constante mejoramiento y optimización de recursos energéticos.



Tabla 2. Matriz DOFA aplicada al caso de la ZNI colombiana.

Dentro de las fortalezas de la matriz DOFA, se visibiliza a Colombia como un país caracterizado por poseer gran magnitud de recursos naturales debido a su gran extensión geográfica, evidenciando diversas amalgamas climáticas y geológicas. Se destacan, para la ZNI, los múltiples recursos hídricos y el alto potencial de aplicación de fuentes de energía no convencional, que contrastan con la alta influencia de fuentes primarias de producción de energía no renovable; por esto, no es extraño, pero si llama la atención, evidenciar en la matriz energética de la ZNI la alta incidencia de estos recursos fósiles por encima de la energía limpia en la generación de electricidad.

En contraste, las debilidades demuestran que ciertamente la implementación de nuevas formas de energía nace de la gestión de información, que permita visualizar de manera objetiva los principales problemas y poseer criterios para implementar soluciones. La principal debilidad de la ZNI colombiana es la imposibilidad de hacer una gestión efectiva de información, debido a que no se cuenta con la inserción de equipos inteligentes que generen medidas precisas y confiables que permitan desarrollar y proponer soluciones coherentes a las problemáticas actuales.



La oportunidad que se visualiza es la pertinente integración de respuesta a la demanda a partir de la concientización social, representando una oportunidad significativa de desarrollo por medio de la optimización de recursos en la dinámica de la red, reconociendo los altos costos de operación.

Por tanto, la omisión de políticas de gestión energética a partir de la gestión de la información, representan no solo una amenaza a la autonomía y soberanía de las redes aisladas, sino la inminente decadencia o simplemente un estancamiento en el desarrollo integral de las regiones apartadas.

Cuando se haya visibilizado la importancia de adquisición de datos en la gestión de la energía, se tendrá la oportunidad de implementar soluciones al nuevo desafío de intermitencia y confiabilidad inherentes a estas alternativas; pero que de acuerdo a la experiencia internacional, se perfila como una respuesta lógica no solo a los constantes problemas de transporte de combustible y el alto costo que ello conlleva sino al compromiso ético constitutivo de desarrollo consiente y responsable.

Conclusiones

La participación de la demanda es intrínsecamente inherente a la dinámica de la operación confiable de las redes de generación de energía a partir de fuentes no convencionales como respuesta a su variabilidad e incertidumbre. Una forma de estimular la participación de la demanda está en la proyección de un mercado de energía que integre generación distribuida en las microrredes, dando prioridad de despacho, por parte del operador de la red, a la producción renovable sobre la producción convencional. En la ZNI colombiana se debe implementar medida inteligente que permita focalizar la investigación en soluciones coherentes a problemas reales para proyectar un gran impacto social, económico y ambiental que redunde en desarrollo sostenible y autosustentable. Paralelo a esto se debe incentivar la concientización de las comunidades a las que se les debe dar protagonismo en la gestión de su propio sistema energético, visibilizando la vulnerabilidad en aspectos sensibles como la salud, la educación e impacto ambiental que en últimas representan la expectante integración social y reivindicación de sus derechos. La inserción masiva de microrredes es la respuesta oportuna, eficaz y confiable a la problemática energética que no solo está asociada a la falta de proyectos de generación renovable, sino también a que las redes de transmisión y distribución se encuentran cada vez más congestionadas.



Referencias

- [1] Congreso de Colombia, “Ley 143 de 1994,” 1994.
- [2] L. C. M. Blasques and J. T. Pinho, “Metering systems and demand-side management models applied to hybrid renewable energy systems in micro-grid configuration,” *Energy Policy*, vol. 45, pp. 721–729, 2012.
- [3] J. F. García Franco, S. X. Carvajal Quintero, and S. Arango Aramburo, “Planeación de Programas de Uso Racional y Eficiente de la Energía en Redes Aisladas de la Zona No Interconectada : Caso de Estudio,” in *XVI Encuentro Colombiano de Dinamica de Sistemas*, 2018.
- [4] Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, “Acuerdo de París de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático,” *Cop21*, vol. 21930, p. 18, 2015.
- [5] K. Ubilla, S. Member, R. Hernández, C. Hernández, B. Severino, and S. Member, “2014_worldwide_Smart Microgrids as a Solution for Rural Electrification Ensuring Long-Term Sustainability Through Cadastre and Business Models.pdf,” pp. 1–9.
- [6] M. Wrinch, T. H. M. El-fouly, and S. Wong, “Demand Response Implementation for Remote Communities -- Installation Challenges and Initial Results for the Village of Hartley Bay,” *IEEE Electr. Power Energy Conf.* 2011, no. Figure 2, pp. 2–6, 2011.