



## **Hacia el Análisis de Oportunidades Energéticas con Fuentes Alternativas en el Departamento de Nariño**

### **Andrés Pantoja**

Ingeniero Electrónico, Universidad Nacional de Colombia, Magíster en Ingeniería Electrónica y de Computadores, Doctor en Ingeniería, Universidad de los Andes, Docente Tiempo Completo y Director del Grupo de Investigación en Ingeniería Eléctrica y Electrónica (GIIEE), Departamento de Electrónica, Universidad de Nariño.

### **Katerine Guerrero**

Ingeniera Electrónica, Universidad de Nariño, Magíster en Ingeniería, Pontificia Universidad Javeriana – Cali, Estudiante de Doctorado en Ingeniería, Universidad del Valle. Investigadora del Grupo de Investigación en Ingeniería Eléctrica y Electrónica (GIIEE), Departamento de Electrónica, Universidad de Nariño.

### **Darío Fajardo**

Ingeniero Electrónico, Magíster en Automatización Industrial, Universidad Nacional de Colombia. Docente Tiempo Completo e Investigador del Grupo de Investigación en Ingeniería Eléctrica y Electrónica (GIIEE), Departamento de Electrónica, Universidad de Nariño.



## Resumen

Los proyectos sostenibles con fuentes no convencionales de energía han probado ser una solución técnica y económicamente factible para la energización de las regiones apartadas. Partiendo de la situación generalizada del país y, en particular de Nariño, el planteamiento de proyectos de investigación que analicen los recursos locales permitirá contribuir al desarrollo de un modelo que tenga en cuenta la inclusión de fuentes renovables y su gestión por medio de tecnologías de redes inteligentes que faciliten programas de eficiencia energética y uso racional de la energía. En este sentido, el proyecto *Análisis de Oportunidades Energéticas con Fuentes Alternativas en el departamento de Nariño (ALTERNAR)* plantea la caracterización de los recursos a nivel local y la investigación en sistemas completos de suministro de energía en zonas no interconectadas para incentivar el desarrollo económico y social de estas regiones rurales del departamento.

**Palabras clave:** ALTERNAR, fuentes no convencionales de energía, proyectos de investigación.

### 1. Introducción

En el departamento de Nariño existen marcadas deficiencias en el suministro de energía en las zonas aisladas y no interconectadas que representan un porcentaje elevado de las regiones alejadas del centro del departamento. Este problema es debido esencialmente a que Nariño está en el extremo del Sistema Interconectado Nacional (SIN), con características geográficas, vías de acceso y condiciones socioeconómicas especiales en la mayoría de las poblaciones rurales. Paradójicamente, estas regiones cuentan con diversos recursos naturales que pueden ser aprovechados para mejorar el cubrimiento del servicio de energía con incentivos al desarrollo de estrategias tecnológicas basadas en energías alternativas, tales como el uso de la biomasa y las energías hidráulica, eólica y solar, cuyo potencial no es conocido, salvo en casos puntuales de algunos proyectos de investigación.

Entre las principales causas de los problemas energéticos en las regiones no interconectadas, se encuentra la falta de información técnica sobre las condiciones del sistema de distribución, la deficiente estimación de la demanda, la falencia en posibles soluciones alternativas a la conexión al sistema central, el costo elevado y la difícil sostenibilidad de las soluciones basadas en combustibles líquidos como el diésel. Por otra parte, la carencia de estudios y mediciones reales de los potenciales energéticos de estas zonas, dificulta el planteamiento de proyectos encaminados a suplir energía por métodos distintos a los convencionales.

Teniendo en cuenta lo descrito, es prioritario obtener información de las diferentes zonas del departamento, relacionarla con las problemáticas y oportunidades energéticas de tipo alternativo, y a la vez, dar a conocer la manera más apropiada de cómo utilizar los diferentes recursos naturales, basándose en experiencias a nivel mundial. Dado que algunas de estas opciones son tecnologías emergentes, la transición hacia esquemas más eficientes, limpios y flexibles, depende de los esfuerzos en investigación, desarrollo, demostración y difusión que se emprenda para aplanar sus curvas de aprendizaje, reduciendo sus costos en forma representativa y buscando imponer mejores prácticas de uso energético para hacer más competitivas las economías y para ser coherentes con los propósitos de sostenibilidad del desarrollo.

Para sobrellevar estas deficiencias, se requiere apoyar la utilización sostenible de los recursos energéticos del Departamento, con el concurso de la investigación e innovación mediante la creación y fortalecimiento de líneas de investigación sólidas en temas de gestión energética. De esta manera, los esfuerzos académicos, industriales, gubernamentales y de las comunidades, pueden ser articulados para cubrir las falencias en la información de las problemáticas energéticas de las regiones apartadas, plantear metodologías para el estudio de los recursos aprovechables y proponer proyectos de avanzada en temas tales como redes inteligentes y generación distribuida con energías limpias.

En este artículo se describe el proyecto denominado Análisis de Oportunidades Energéticas con Fuentes Alternativas en el Departamento de Nariño (ALTERNAR), financiado con recursos del Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sistema General de Regalías y ejecutado por la Universidad de Nariño con colaboración de la Universidad de Los Andes y ASC Ingeniería S.A. E.S.P. Esta iniciativa, actualmente en ejecución, es la primera fase de un macro-proyecto que pretende contribuir a la definición de nuevos modelos de gestión energética para mejorar la cobertura en zonas apartadas, aprovechando integralmente recursos naturales disponibles con técnicas modernas que aborden los retos del cambio climático y contribuyan con la mitigación de la crisis económica y la solución de las necesidades sociales propias de cada sector. Las siguientes fases, cuyos recursos serán gestionados al finalizar la primera parte del proyecto, incluyen los diseños a nivel de detalle y los estudios económicos de factibilidad para determinar la viabilidad de una solución modelo de energización sostenible, la posterior implementación del sistema prototipo y una metodología de evaluación y seguimiento.

Teniendo en cuenta el reto propuesto en este proyecto, el fortalecimiento de un plan de investigación y desarrollo tecnológico en esta área es

de vital importancia para estructurar la información requerida sobre las oportunidades energéticas de las regiones apartadas y facilitar la apropiación de nuevo conocimiento alrededor de la gestión energética, la proposición de proyectos alrededor de la generación distribuida con fuentes alternativas y el estudio de nuevas tendencias, tales como las redes inteligentes, para la solución de los problemas con metodologías apropiadas, escalables, controlables y replicables.

A manera de resumen, este trabajo describe inicialmente parte de la normatividad actual sobre el uso de las fuentes no convencionales en Colombia, así como una descripción básica del estado de las zonas apartadas y no interconectadas en el país y en Nariño. Con base en esta información, posteriormente se describe el proyecto ALTERNAR como una iniciativa para investigar sobre los recursos locales del Departamento y las estrategias para alcanzar un primer diagnóstico, que abre las posibilidades para continuar un estudio a detalle, y la posterior implementación de sistemas prototipo que usen fuentes alternativas en un entorno sostenible técnico, ambiental y económico.

## **2. Escenario actual frente a las fuentes no convencionales de energía en Colombia**

En los últimos años, el sector energético de Colombia ha considerado que las fuentes no convencionales de energía (FNCE) constituyen una tendencia global como alternativas viables, no sólo para contribuir a la disminución de los impactos ambientales, sino también para el incremento de la cobertura del servicio de energía, de la productividad y el manejo eficiente de los recursos en zonas apartadas del país. Es así como, a partir de la Ley 697 de 2001, se declaró que el uso racional y eficiente de la energía es un asunto de interés social, público y de convivencia nacional (Ministerio de Minas y Energía, 2011), estableciendo el Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía y Fuentes no Convencionales –PROURE– a través del cual se pretendió estimular el uso de este tipo de fuentes mediante el fortalecimiento de instituciones, la constitución de condiciones económicas, la consolidación de la cultura del manejo sostenible de los recursos y la facilitación de la aplicación de normas que impulsen el desarrollo de proyectos relacionados con las FNCE.

Por su parte, la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) ha trazado unos lineamientos sobre la participación de las energías alternativas por medio del Plan Energético Nacional (PEN), en su ideario a 2050 (UPME, 2015). En este documento se destaca que a 2014, la participación de las FNCE para la producción de energía eléctrica es marginal en la canasta energética del país, ya que fuentes como la solar (10 MW), eólica (19,5 MW),

biomasa (menor de 100 kW) y de pequeñas centrales hidroeléctricas (463 MW), representan sólo un 4% de la capacidad instalada. Esta capacidad está claramente por debajo de la instalada en países como Brasil, Chile y México, a la cabeza en América Latina, e incluso de Perú, Guatemala y Ecuador, cuya reglamentación actual estimula la inversión (Detta, 2015).

Partiendo de los resultados de las políticas implementadas y con el ánimo de fortalecer la normatividad sobre esta problemática, se expidió la Ley 1715 de 2014, actualmente en reglamentación, que estipula unos lineamientos e incentivos normativos y fiscales para promover efectivamente un incremento de generación con fuentes renovables. Entre estos incentivos a los proyectos con FNCE se cuenta con una reducción del impuesto de renta hasta del 50% de la inversión, la exención del pago del IVA a los equipos y servicios destinados a los proyectos y la eliminación del pago de aranceles a los equipos y materiales importados que no sean producidos por la industria nacional, entre otros. Además, la Ley estimula la formulación de proyectos de ciencia, tecnología e innovación mediante convocatorias reglamentadas por Colciencias y financiadas por fondos adicionales a los manejados tradicionalmente por esta entidad. De esta manera se pretende incentivar el avance hacia la incorporación de tecnologías actuales como las redes inteligentes y programas de eficiencia energética y respuesta de la demanda.

Ante este nuevo panorama, la UPME proyecta un incremento de la penetración de las FNCE a un 6% de la canasta energética en un escenario factible y hasta un 15% en un escenario optimista a 2028, que integre esta diversificación tanto al Sistema Interconectado Nacional como a las Zonas No Interconectadas (ZNI). En Colombia, las ZNI representan un 52% del territorio nacional en 90 municipios alejados de la zona andina, incluyendo 39 cabeceras municipales con deficiencias en el suministro eléctrico y cuya generación está basada en grupos electrógenos diésel (Giraldo y Álvarez, 2014, pp. 9-19). Según el Plan Indicativo de Expansión de Cobertura de Energía Eléctrica 2013-2017, el déficit de cobertura en el país está en un 3,9%, representando alrededor de 470.000 viviendas sin servicio de energía, que requerirían una inversión de 5 billones de pesos para su cobertura en los próximos 4 años. De estas viviendas, se estima que solamente un 88% tendría factibilidad de conectarse al Sistema Interconectado Nacional, mientras que el restante 12% deben ser abastecidas con soluciones aisladas. Cabe destacar que fuera de las viviendas sin servicio, cerca de 180.000 viviendas de ZNI son atendidas mediante soluciones diésel (UPME, 2013).

A nivel local, el problema de cobertura en las regiones apartadas del departamento de Nariño es particularmente relevante, dadas las dificultades

de acceso geográfico, los niveles de pobreza de algunas regiones y la necesidad de cumplimiento de condiciones mínimas para proyectos de expansión y desarrollo planeados como frontera sur y paso desde la Amazonía al océano Pacífico. De acuerdo con el documento CONPES 3108 de 2001 sobre el programa de energización de zonas no interconectadas, Nariño sólo contaba con un cubrimiento de energía eléctrica en un 39,5% de la población en ZNI, mientras el promedio general del país estaba en un 50,3%. Gracias a los programas de electrificación adelantados en los últimos años, el avance ha sido significativo desde 2001 a 2014 en materia de cobertura y número de horas de servicio. Según el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para ZNI –IPSE, se destaca la ampliación a 24 horas de las cabeceras municipales de Francisco Pizarro y de los municipios de la subregión de Sanquianga (Santa Bárbara de Iscuandé, La Tola, El Charco, Olaya Herrera y Mosquera) mediante plantas diésel confiables (IPSE, 2014).

Sin embargo, la mayoría de las poblaciones en las zonas rurales de las ZNI cuentan con escasas 4 o 5 horas de servicio, y otras tantas no tienen acceso a la energía eléctrica, situación generalizada en los municipios cercanos a la costa pacífica y piedemonte costero, y persistente aún en veredas alejadas de las cabeceras municipales de la región andina. Según los resultados del Plan de Energización Rural Sostenible de Nariño –PERS- a 2014 existen alrededor de 7.450 viviendas sin servicio, mientras que unos 28.000 usuarios obtienen el recurso de plantas diésel municipales, propias o compartidas (PERS, 2014).

El PERS es una iniciativa conjunta de la UPME, el programa de energías limpias para Colombia de USAID, el IPSE y la Universidad de Nariño, cuyo propósito es estructurar y desarrollar una metodología que permita elaborar un diagnóstico energético y socio-económico rural a nivel subregional para identificar, formular y estructurar proyectos integrales. La metodología del PERS se puede resumir esencialmente en 4 actividades que inician con un estudio de las características socioeconómicas y productivas de las zonas rurales del departamento. Para esto se debe recopilar, clasificar y priorizar la información secundaria disponible en diferentes fuentes, con el fin de tener un marco de referencia apropiado y actualizado sobre la situación de cada subregión. Con base en la información recolectada, se realiza el diseño, proyección y aplicación de encuestas en una muestra representativa por subregión para caracterizar el uso de los recursos energéticos en el sector residencial, comercial e industrial/institucional. Paso siguiente, se debe realizar el análisis de los resultados para caracterizar el consumo de energía por fuente y uso en cada subregión y poder realizar inferencias sobre el comportamiento

de la oferta y demanda en las zonas rurales; y finalmente, con los análisis estadísticos de las encuestas, las características de las regiones y los posibles recursos energéticos disponibles, se identifica y formula proyectos sostenibles, teniendo en cuenta los procesos productivos y el bienestar social de las regiones.

Como resultado de esta metodología, se dispone de información y herramientas que permitan realizar diagnósticos energéticos y socioeconómicos a nivel de subregión, con el fin de establecer una línea base local, zonificada y verídica. De esta manera se facilita la formulación y replicación de proyectos, el análisis de alternativas, el planteamiento estructurado de problemas y la proposición de soluciones en las zonas rurales. Dada su filosofía y los resultados iniciales del proyecto piloto en Nariño (premiado a nivel nacional como proyecto de investigación y desarrollo en el sector eléctrico colombiano (Rey et al., 2014)), se espera que los PERS se conviertan en una tendencia nacional, teniendo en cuenta que actualmente están siendo desarrollados en los departamentos de Tolima, Guajira y Chocó, y hay interés en su adaptación a corto plazo en Cundinamarca, Boyacá, Putumayo y Valle del Cauca.

Con la situación descrita, los diferentes sectores del país deben encaminarse a generar políticas destinadas a mejorar las condiciones de vida de las comunidades a través de programas que vinculen el desarrollo energético regional. En este sentido, se debe incentivar el desarrollo de proyectos conjuntos entre academia, gobierno y empresas para investigar y proponer modelos de gestión que tengan en cuenta los recursos locales en FNCE, su aprovechamiento de forma sostenible y nuevas metodologías de manejo basadas en avances tecnológicos como las redes inteligentes.

### **3. ALTERNAR: una propuesta para el análisis de las fuentes alternativas en Nariño**

La energización de las áreas rurales representa un problema técnico para las empresas prestadoras de servicios, así como de planeación y gestión para las entidades gubernamentales, debido a que en general, estas zonas se encuentran apartadas de los centros de consumo; y, dadas sus condiciones geográficas, las tecnologías de generación, transmisión y distribución tradicionales resultan muy costosas o poco factibles para la inversión pública y privada. No obstante, es necesario realizar un proceso de gestión especializada en donde se busque adaptar las tecnologías disponibles a las condiciones del medio, optimizando y racionalizando las inversiones y los alcances técnicos.

Las consideraciones ambientales unidas a objetivos de garantizar el suministro de energía con alternativas sostenibles a mediano plazo,

son factores que propician el aprovechamiento de recursos renovables locales para la interconexión de pequeños generadores (conocidos como generadores distribuidos) cerca de las cargas, reduciendo el uso de soluciones basadas en combustibles costosos de difícil transporte y con requerimientos continuos de mantenimiento (Giraldo y Álvarez, 2014). Además, desde el punto de vista de las empresas distribuidoras de energía, la introducción de generadores distribuidos puede reducir potencialmente la demanda de expansiones de la red, y claramente, la cercanía del generador a las cargas, reduce los flujos en los circuitos de distribución, minimizando las pérdidas, con alivio de demandas en horas pico y posibles alternativas en aislamiento de fallas y mejoras en la calidad del servicio (Hatzigryiou, 2008).

Sin embargo, la sola introducción de generación distribuida, no garantiza un correcto funcionamiento de los sistemas de distribución, ya que una penetración alta de FNCE (que pueden ser intermitentes o no fácilmente predecibles como la radiación solar o la velocidad del viento) podría implicar decrementos en la calidad de la energía o desestabilización de la red. Así, el desarrollo de los nuevos sistemas incluye la instalación de dispositivos adicionales como sistemas de almacenamiento, medidores, protecciones y actuadores inteligentes que faciliten establecer protocolos de control y monitoreo a través de un sistema de información basado en comunicaciones entre dispositivos y desde/hacia centros de control. Esta tendencia hace parte de las denominadas “redes inteligentes” y su aplicación en “microrredes” o “microgrids” que permite conocer el estado de los generadores, el consumo de las cargas, el manejo de los dispositivos y el establecimiento de programas eficientes de ahorro, uso eficiente de la energía y participación activa de los usuarios ante indicadores de precios e incentivos en un proceso conocido como respuesta de la demanda (Kroposki, Lasseter, Ise, Morosumi y Papathanassiou, 2008, pp. 40-53).

El impulso hacia las redes inteligentes y microrredes es un elemento clave en el plan de modernización, reactivación económica y uso de energías renovables para el cubrimiento de zonas rurales. Experiencias internacionales exitosas como Huatacondo en Chile (Jiménez-Estévez, Palma-Behnke, Ortiz-Villalba, Silva-Montes y Nuñez-Mata, 2014) y casos de microrredes en India, Malasia y Haití (Schnitzer, Shinde-Lounsbury, Carvallo, Deshmukh, Apt y Kammen, 2014), permiten vislumbrar la eficiencia de la adopción de este tipo de esquemas en zonas apartadas de países en vía de desarrollo y que pueden ser fácilmente adecuados

al entorno nariñense. Por lo tanto, la generación distribuida y las redes inteligentes se constituyen en soluciones más interesantes no sólo para la energización de zonas apartadas, sino también para la modernización de las redes de distribución en cabeceras municipales.

Con base en estas tendencias, la Universidad de Nariño en cabeza del Departamento de Electrónica y el Grupo de Investigación en Ingeniería Eléctrica y Electrónica (GIIEE), desarrolló el proyecto denominado *Análisis de Oportunidades Energéticas con Fuentes Alternativas en el Departamento de Nariño (ALTERNAR)*, iniciativa financiada con recursos del Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sistema General de Regalías, y ejecutado en colaboración de la Universidad de Los Andes y ASC Ingeniería S.A. E.S.P, con el apoyo de la gobernación de Nariño.

Este proyecto, iniciando su ejecución, es la primera fase de un programa a largo plazo que pretende contribuir a la definición de nuevos modelos de gestión energética para mejorar la cobertura en zonas apartadas, aprovechando integralmente recursos naturales disponibles con técnicas modernas que aborden los retos del cambio climático y contribuyan con la mitigación de la crisis económica y la solución de las necesidades sociales propias de cada sector. Las siguientes fases del proyecto, proyectadas para la búsqueda de recursos a corto plazo, incluyen los diseños a nivel de detalle y los estudios económicos de factibilidad para la implementación de una solución de energización sostenible modelo, y la posterior implementación del sistema prototipo, su evaluación y seguimiento.

Esta primera fase se basa esencialmente en la organización de información para realizar un diagnóstico y caracterización de los recursos disponibles en las diferentes regiones del departamento, direccionando la investigación en cuatro aspectos principales:

- Inicialmente, se pretende realizar un estudio técnico detallado de las fuentes alternativas disponibles en las zonas rurales de los municipios con menor cobertura eléctrica del Departamento. Para esto se propone la recopilación de la información dispersa en fuentes secundarias especializadas y realizar mediciones reales por medio de estaciones de medición de variables ambientales equipadas con un sistema de telemetría y un sistema de información sobre posibilidades de generación de energía con viento, luz solar, hidro-generación y biomasa. La instalación de estas estaciones se realizará teniendo en cuenta las condiciones de los emplazamientos preseleccionados y con el aval de la comunidad y las autoridades competentes en cada municipio.

- Con la información de datos reales y proyecciones estadísticas de las fuentes estudiadas, se escogerá dos zonas con potencial adecuado para realizar el diseño técnico completo a nivel de pre-factibilidad para la implementación de una solución que incluya generación alternativa, redes de distribución, medición inteligente y un sistema de información basado en telecomunicaciones para el soporte del manejo de los recursos y el control de los generadores.
- Estos estudios posibilitan el fortalecimiento de una línea de investigación en gestión energética en la Universidad de Nariño, con el apoyo de la Universidad de Los Andes, a través de investigadores y estudiantes de maestría y doctorado. Esta línea apoyará los estudios que garanticen la sostenibilidad de los proyectos iniciales y la nueva formulación de proyectos a nivel de factibilidad e implementación.
- En este sentido, es importante destacar que con miras al desarrollo de proyectos en redes inteligentes, se propone realizar el estudio preliminar a nivel de diseño de una red prototipo en el campus de la Universidad de Nariño. Este laboratorio permitirá la apropiación tecnológica de las nuevas tendencias en redes de distribución de energía, el diseño apropiado de este tipo de redes a gran escala, las pruebas de sistemas comerciales para validación y formulación de proyectos con equipos validados y adaptados a nuestras regiones, además de constituir un laboratorio de prueba para investigación fundamental y aplicada en el área de redes inteligentes.

En este proyecto se ha unido esfuerzos de dos entidades de educación superior con una empresa prestadora de servicios de energía, alrededor de un esfuerzo estatal representado por la gobernación de Nariño y su Plan de desarrollo “Nariño Mejor”. La Universidad de Nariño, conectora de la región y sus problemáticas, cuenta con el liderazgo regional en los estudios socioeconómicos para soportar el proyecto, y sus grupos de investigación tienen el soporte académico para el desarrollo de las actividades técnicas locales. Así mismo, el sector eléctrico colombiano, por medio de la UPME y el IPSE, apoya esta iniciativa a través del PERS, proyecto que actualmente se ejecuta a la cabeza del Departamento de Electrónica de la Universidad de Nariño.

Por su parte, ASC Ingeniería, empresa de prestación de energía en varias regiones de Nariño, brinda su experiencia en comercialización en las zonas aisladas del Departamento, tiene una base de datos actualizada de los registros para estimación de demanda, y cuenta con personal

capacitado en el manejo y programación de software para cálculos tarifarios, subsidios, sistemas de tele-medida y estudios de sostenibilidad de proyectos energéticos. Finalmente, la Universidad de Los Andes y sus grupos de investigación en potencia, energía, control, automatización y energías renovables, representan el soporte científico del proyecto, permitiendo la articulación de los esfuerzos investigativos y de apropiación tecnológica con base en la experiencia de sus investigadores, la formación de estudiantes dedicados al proyecto a nivel de maestría y doctorado, los servicios de laboratorios y el reconocimiento de su liderazgo a nivel nacional en este tipo de proyectos avalados con publicaciones nacionales e internacionales de calidad.

Los objetivos del proyecto serán realizados con la participación de la academia con 9 investigadores con doctorado y 4 con maestría en temas de generación, gestión energética, control, comunicaciones y desarrollo regional. Además, la investigación se nutrirá de la formación de 3 estudiantes doctorales, 7 estudiantes de maestría, 15 estudiantes de pregrado y el contrato de alrededor de 26 profesionales expertos en diferentes áreas de ingeniería, psicología, sociología, geografía y economía, y 10 técnicos para instalación y labores generales.

Cabe también resaltar que la participación de las comunidades y las autoridades de cada municipio es indispensable para el buen desarrollo del proyecto, y que las actividades que requieran su competencia serán concertadas y discutidas como parte orgánica de los objetivos de ALTERNAR.

En este sentido, se requiere el apoyo mancomunado de todos los agentes involucrados para facilitar el uso sostenible de los recursos energéticos del Departamento, con el concurso de la investigación e innovación mediante la creación y fortalecimiento de líneas de investigación sólidas en temas de gestión energética. De esta manera, los esfuerzos académicos, industriales, gubernamentales y comunitarios pueden ser articulados para cubrir las falencias en la información de las problemáticas energéticas de las regiones apartadas, plantear metodologías para el estudio de los recursos aprovechables, y proponer proyectos de avanzada en temas tales como redes inteligentes y generación distribuida con energías limpias.

#### **4. Conclusiones**

Partiendo de las condiciones difíciles para el acceso a la energía de las zonas apartadas del departamento de Nariño, el proyecto ALTERNAR propone una estrategia para caracterizar los recursos locales que pueden

ser aprovechados en la generación de energía eléctrica y suplir parte de las necesidades de los sectores rurales lejanos. Siendo la energía una línea transversal que facilita nuevas actividades que incentiven el desarrollo económico y social de las regiones, es importante incentivar soluciones energéticas sostenibles con propuestas resultado de investigación para su crecimiento continuo.

A pesar del rezago del país en el uso sostenible de las FNCE, la legislación actual y los entes encargados de direccionar el planeamiento energético de Colombia están encaminando esfuerzos para incentivar y obtener provecho de este tipo de fuentes. Por esto, proyectos y programas impulsados por incentivos económicos regulados adecuadamente podrán establecer una guía tanto a nivel académico como de implementación para el desarrollo que el país requiere, dado su gran potencial en este tipo de recursos renovables. Por lo tanto, la formulación de nuevos proyectos conjuntos alrededor de estos temas por parte de la comunidad académica de las diferentes universidades y el interés manifiesto del gobierno local en destinar recursos para financiar estas iniciativas, puede llevar al departamento a establecer un liderazgo a nivel nacional con capital humano formado a alto nivel en investigación y desarrollo, y proyectos prototipo con diferentes recursos locales instalados y funcionando sosteniblemente en muchas de las zonas alejadas de Nariño.

## Referencias

- Bollen, M. (2011). *The Smart Grid: adapting the power system to new challenges*. Morgan & Claypool Publishers. Recuperado de [https://books.google.com.co/books?id=eppxZ5\\_5lBgC&pg=PA154&lpg=PA154&dq](https://books.google.com.co/books?id=eppxZ5_5lBgC&pg=PA154&lpg=PA154&dq)
- Congreso de la República de Colombia. (2001). Ley 697 de 2001 “Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dicta otras disposiciones”. Bogotá, Colombia. Recuperado de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=4449>
- (2014). Ley 1715 de 2014 “por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional”. Bogotá, Colombia. Recuperado de [http://www.upme.gov.co/Normatividad/Nacional/2014/LEY\\_1715\\_2014.pdf](http://www.upme.gov.co/Normatividad/Nacional/2014/LEY_1715_2014.pdf)
- Detta, E. (2015). Top 5 Países Latinoamericanos en Renovables en 2015. *Futureenergy*, Volumen 17, pp. 71-76. Recuperado de <http://www.futureenergyweb.es/digital-versions/2015-01/index.html#1/z>
- Giraldo, J. y Álvarez, C. (2014). La generación distribuida como alternativa energética en zonas no interconectadas de Colombia. *Revista CIDET*, (11).
- Hatziargyriou, N. (2008). Microgrids, the key to unlock distributed energy resources? *IEEE Power and Energy Magazine*, 6(3), 26-29.
- IPSE, Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para Zonas No Interconectadas. (2014). Colombia. Recuperado de <http://www.ipse.gov.co/>
- (2014). Informe de Gestión 2014. Recuperado de <http://www.ipse.gov.co/ipse/informacion-institucional/metas-e-indicadores-de-gestion>
- Jiménez-Estévez, G., Palma-Behnke, R., Ortiz-Villalba, D., Silva-Montes, C. & Núñez-Mata, O. (2014). It takes a village. *IEEE Power and Energy Magazine*, 12(4), 60-69.
- Kroposky, B., Lasseter, R., Ise, T., Morozumi, S., Papathanassiou, S., & Hatziargyriou, N. (2008). Making microgrids work. *IEEE Power and Energy Magazine*, 6(3), 40-53.
- Ministerio de Minas y Energía, República de Colombia y Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). (2011). Plan de Acción Indicativo 2010–2015 PROURE. Bogotá, Colombia. Recuperado de [http://www.upme.gov.co/Eventos/URE\\_2011/Olga\\_Victoria\\_Gonzalez\\_%20PROURE.pdf](http://www.upme.gov.co/Eventos/URE_2011/Olga_Victoria_Gonzalez_%20PROURE.pdf)
- PERS-Nariño. (2014). Diagnóstico energético y social de las zonas rurales del departamento de Nariño. Universidad de Nariño. Recuperado de <http://sipersn.udenar.edu.co:90/sipersn/docs/DocumentosAnalisisdeInformacion/DiagnosticoEnergeticoySociadelDepartamento.pdf>

Plan Energético Nacional 2010-2030. (2010). PEN 2010-2030, Informe Final. Recuperado de <http://www.upme.gov.co/Docs/PEN/PEN%202010%20VERSION%20FINAL.pdf>

República de Colombia, Departamento Nacional de Planeación. (2001). Programa de Energización para Zonas no Interconectadas. Documento Conpes 3108. Bogotá, Colombia. Recuperado de <http://www.upme.gov.co/zni/portals/0/resoluciones/CONPES3108.pdf>

Rey, O., Cuenca, J., Pantoja, A., Fajardo, D., Achicanoy, W. & Chávez, G. (2014). Planes de Energización Rural Sostenibles PERS. La Energía: un medio para el desarrollo productivo rural. XI Jornadas de distribución de energía eléctrica. Bogotá DC.

Rosero, V. (2013). *Plan de Energización Rural Sostenible de Nariño (PERS)*. (Trabajo de grado). Universidad de Nariño, Pasto, Nariño.

Schnitzer, D., Shinde-Lounsbury, D., Carvallo, J. P., Deshmukh, R., Apt, J. & Kammen, D. (2014). Microgrids for Rural Electrification: A critical review of best practices based on seven case studies. United Nations Foundation. Recuperado de <http://www.ourenergypolicy.org/microgrids-for-rural-electrification-a-critical-review-of-best-practices-based-on-seven-case-studies/>

Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). (2003). Plan Energético Nacional, Estrategia Energética Integral, Visión 2003–2020. Colombia. Recuperado de [http://www.upme.gov.co/Docs/Pen\\_2003/Pen2003\\_Total.pdf](http://www.upme.gov.co/Docs/Pen_2003/Pen2003_Total.pdf)

----- (2015). Plan Energético Nacional de Colombia: Ideario Energético 2050. Bogotá DC. Recuperado de [http://www.upme.gov.co/Docs/PEN/PEN\\_IdearioEnergetico2050.pdf](http://www.upme.gov.co/Docs/PEN/PEN_IdearioEnergetico2050.pdf)