EIEI ACOFI 2025
5º Congreso Latinoamericano de Ingeniería
Más Información: www.acofi.edu.co/eiei
Ingeniería de impacto para cuidar y transformar la vida
ACOFI: 50 años por la excelencia de la educación en ingeniería.

Energía solar fotovoltaica: perspectivas y oportunidades en el marco de la política energética en las zonas no interconectadas (ZNI) en Colombia

Olga Lucía Ocampo López, Andrea Osorio Escobar

Universidad Autónoma de Manizales
Manizales, Colombia

Resumen

La generación de energía con fuentes no convencionales de energía, en especial con Sistemas Solares Fotovoltaicos (SSFV), ha crecido rápidamente en los últimos años a nivel internacional y en el territorio colombiano. En las Zonas no Interconectadas (ZNI), su implementación ha permitido diversificar la canasta energética del país, con impactos positivos en la transición energética, y en el bienestar de las comunidades, localizadas en las regiones más apartadas del país donde se tienen diferentes restricciones que limitan su desarrollo. En este estudio, producto de un trabajo de grado de Maestría en Administración de Negocios, MBA de la Universidad Autónoma de Manizales, UAM®, se realizó la caracterización de las perspectivas y oportunidades para la integración de la energía solar en las ZNI, mediante estudios de caso en Inírida y Mitú. Para su desarrollo se efectuó la recopilación y el análisis de las variables climáticas, sociales, ambientales y económicas, relacionadas con comunidades energéticas, considerando los proyectos implementados en las regiones objeto de estudio. Se aplicó un instrumento para la caracterización de los SSFV validado por la UAM®. Los resultados de este trabajo de investigación aplicada aportan a la generación de nuevo conocimiento para la implementación de proyectos de SSFV en las ZNI y evidencian que los casos de estudio analizados, si bien contribuyen con los objetivos de la política energética del país, reflejan aspectos logísticos y operativos que son fundamentales para garantizar su sostenibilidad; en este sentido, los hallazgos permiten comprender realidades en la integración y análisis de alternativas de energización con Fuentes No Convencionales de Energía (FNCER) en las ZNI, así como la definición de estrategias y medidas para viabilizar y hacer sostenibles estos proyectos, considerando su vulnerabilidad frente al cambio climático y el marco político y reglamentario.

Palabras clave: comunidades energéticas; energía solar fotovoltaica; transición energética; zonas no interconectas

DOI: https://doi.org/10.26507/paper.4244

Abstract

The generation of energy with non-conventional energy sources, especially with Solar Photovoltaic Systems (SSFV), has grown rapidly in recent years at an international level and in the Colombian territory. In the Non-Interconnected Zones (ZNI), its implementation has allowed to diversify the country's energy basket, with positive impacts on the energy transition, and on the well-being of the communities, located in the most remote regions of the country where there are different restrictions that limit their development. In this study, the product of a Master's degree in Business Administration, MBA from the Autonomous University of Manizales, UAM®, the perspectives and opportunities for the integration of solar energy in the ZNI were characterized, through case studies in Inirida and Mitu. For its development, the collection and analysis of climatic, social, environmental and economic variables related to energy communities was carried out, considering the projects implemented in the regions under study. An instrument for the characterization of SSFV validated by the UAM® was applied. The results of this applied research work contribute to the generation of new knowledge for the implementation of SSFV projects in the ZNI and show that the case studies analyzed, while contributing to the objectives of the country's energy policy, reflect logistical and operational aspects that are essential to guarantee their sustainability; in this sense, the findings allow us to understand realities in the integration and analysis of energy alternatives with Non-Conventional Energy Sources (FNCER) in the ZNI, as well as the definition of strategies and measures to make these projects viable and sustainable, considering their vulnerability to climate change and the political and regulatory framework.

Keywords*: energy communities, photovoltaic solar energy, energy transition, non-interconnected areas*

1. Introducción

La energía es el pilar del desarrollo de los procesos productivos, del progreso social de los países y elemento fundamental del avance tecnológico mundial (Castillo et al., 2015). Presenta tres grandes desafíos en materia de competitividad, seguridad energética y cambio climático (Restrepo et al., 2014). La generación energética mundial concentra el 66,7% de la producción energética en once (11) países (Archana & Sanjay, 2019), entre los cuales los países europeos lideran la implementación de FNCER, se destaca Alemania con los SSFV. En América Latina, diferentes estudios han evaluado la contribución potencial de las energías renovables a la seguridad energética en el corto y largo plazo, considerando índices de variabilidad para evaluar los patrones de los recursos eólicos y solares de la región, con escenarios de cambio climático (Viviescas et al., 2019). Aunque en la región se requiere mejorar la seguridad y equidad energética, el despliegue de FNCE es aún lento (Jiménez, Restrepo & Mulcue, 2019).

Los SSFV representan opciones financieramente competitivas en comparación con otras tecnologías (Jiménez et al., 2021). El rápido crecimiento en los últimos años de los SSFV se explica por la drástica caída del precio de los paneles, que conlleva a una mayor competitividad de esta fuente de energía; sin embargo, este rápido crecimiento también se atribuye a las políticas públicas en forma de subsidios fiscales (Villada et al., 2017).

La estimación del potencial de energía solar depende de indicadores multidimensionales como los recursos locales de energía solar, la cobertura del suelo, el desarrollo tecnológico, el costo de las tecnologías solares y las políticas gubernamentales, aspectos que influyen en la viabilidad económica de los SSFV; en este sentido se requieren análisis integrales además de identificar los factores de instalación exitosa, considerando la minimización de los costos de construcción y operación (Zhang et al., 2020).

Ante los efectos negativos del cambio climático, surgen avances tecnológicos en favor de la transición energética que promueven la implementación de FNCE como las principales acciones de mitigación (Ortiz M, Sabogal A, & Hurtado A, 2012). El crecimiento sostenido en la implementación de energías renovables y el interés que despiertan pueden explicarse por las ventajas que supone su aprovechamiento, tales como la reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y otros contaminantes criterios de calidad del aire, la disminución de la dependencia de la generación hidroeléctrica, la diversificación de la matriz energética, la creación de empleo y su aporte a la innovación y desarrollo tecnológico (Posso, Acevedo, & Hernández, 2014). Los sistemas solares fotovoltaicos (SSFV) están experimentando una rápida adopción en todo el mundo debido a su rápida reducción de costos y a sus atributos respetuosos con el medio ambiente (Carter & Shaufiullan, 2015).

En regiones aisladas, existe un alto potencial para aumentar sustancialmente el uso de energía solar fotovoltaica en paralelo con los generadores independientes existentes, reduciendo así el uso de combustible diésel y las horas de funcionamiento del generador, lo que se traduce en menores costos de energía y emisiones de GEI (Carter & Shaufiullan, 2015). En este contexto, la generación de energía con estas fuentes no convencionales implica beneficios sociales y económicos y permite mejorar la calidad de vida, la economía local y el desarrollo de las regiones tan apartadas y de difícil acceso, que existen en gran parte del territorio colombiano, como es el caso de las ZNI.

Colombia enfrenta retos en materia de energía que incluyen ampliar la cobertura, mejorar la calidad y confiabilidad del servicio, diversificar la matriz energética y sostener el desarrollo económico, sin un aumento de las emisiones de CO2 (Jiménez et al., 2021). En el país, las ZNI abarcan el 51% del territorio colombiano (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2017), están distribuidas en 18 departamentos, 5 capitales departamentales, 27 cabeceras municipales, 75 municipios y 1.856 localidades, 209.204 usuarios atendidos, 94 entes prestadores y 431.000 usuarios sin servicio de energía (IPSE, 2017), sin embargo, corresponden a aproximadamente un 3% con respecto a la población total del país (Franco, Dyner, & Hoyos, 2008). La dificultad del acceso al servicio de energía afecta la calidad de vida, el acceso a la educación, la tecnología, la salud; en estas regiones se concentra la población vulnerable, con mayores niveles de pobreza, y se constituye en una brecha importante para el desarrollo de las regiones.

En las ZNI, la población está dispersa y los costos de generación son mayores que en el resto del país e incluso mayores al promedio mundial. La prestación del servicio público en estas ZNI es deficiente, discontinua, costosa y de baja cobertura (Franco, Dyner, & Hoyos, 2008). Donde hay cobertura de energía, el servicio se presta por algunas horas y es costoso (Flórez, Tobón, & Castillo,

2009); la generación se realiza in situ, en su mayoría con diésel, con altos costos logísticos por las dificultades con el transporte, que en su mayoría es fluvial; hay que considerar además que la navegabilidad de los ríos no siempre es posible en todas las épocas del año y que la topografía limita el transporte terrestre, lo que conlleva a que el costo del combustible sea elevado (Gómez N. E., 2011), con repercusiones en el costo de la energía y la prestación confiable del servicio.

En consecuencia, es prioritaria la implementación de FNCER en las ZNI y el cierre de brechas tecnológicas de estas comunidades sin electricidad. Dados los retos logísticos, el desarrollo de los proyectos debe garantizar acceso a la energía a costos razonables y con los menores impactos ambientales, por la alta biodiversidad de estos territorios; en este sentido las dimensiones de la sostenibilidad deben ser consideradas para el análisis de los proyectos, dado que las ZNI requieren soluciones que brinden un suministro local de energía que sea sostenible, constante, confiable y económicamente asequible.

La Ley 1715 de 2014 (Congreso de la República, 2014) constituye un importante logro para estimular la diversificación de la matriz energética en Colombia; contribuye a la factibilidad requerida de los proyectos de generación con FNCER. De esta manera, se podría suplir generación distribuida a más de un millón de hogares en distintas zonas del territorio nacional (Hernández, Velasco de la Fuente, & Trujillo Rodríguez, 2011). Es así como en el país se tienen diferentes iniciativas para fomentar la implementación de SSFV como una alternativa para atender la demanda de las ZNI (Rozo Álvarez & Ovalle Murcia, 2020), con efectos positivos en la contaminación del auditiva y atmosférica.

El país cuenta con una irradiación que supera el promedio mundial, lo que favorece positivamente el potencial de SSFV. Esta irradiación presenta mayor concentración en las regiones de la costa Atlántica y Pacífica, la Orinoquia y la Región Central. El promedio es de 4.5 $kWh/m^2/d$, que supera el promedio mundial de 3.9 $kWh/m^2/d$, superior al de Alemania (3.0 $kWh/m^2/d$), país que hace el mayor uso de la energía solar en el mundo.

Este estudio caso, producto de un trabajo de grado de Maestría en Administración de Negocios, MBA de la Universidad Autónoma de Manizales, UAM®, presenta los resultados de la caracterización de las perspectivas y oportunidades para la integración de SSFV en las ZNI, mediante estudios de caso en Inírida y Mitú

2. Metodología

Este estudio es producto de una investigación de enfoque exploratorio y descriptivo, que aplicó la metodología del estudio de caso de implementación de SSFV en Inírida y Mitú. Para su desarrollo se efectuó la recopilación y el análisis de las variables climáticas, sociales, ambientales y económicas, relacionadas con comunidades energéticas, considerando los proyectos implementados en las regiones objeto de estudio. Se aplicó un instrumento para la caracterización de los SSFV validado por la Universidad Autónoma d Manizales UAM® (Echeverry, 2018). 1). En el instrumento se tuvieron en cuenta 6 criterios de segmentación para la clasificación de la información: 1. Preguntas generales, 2. Información de la empresa que suministra la energía

eléctrica, 3. Información del sistema solar fotovoltaico en particular que está usando y sus características, 4. Usos dados a la energía solar fotovoltaica generada, 5. Costos del sistema instalado, 6. Grado de Satisfacción.

3. Resultados

3.1. Caso SSFV en Inírida

En el municipio de Inírida, la prestación del servicio de energía es de 24 horas al día, la generación se realiza con unidades a base de combustible líquido biodiesel tipo B2 (mezcla entre Diésel y un porcentaje de aceite de palma); la Central de Generación cuenta con cinco (5) grupos electrógenos con una capacidad total de 9.250 kW, para atender la demanda de energía eléctrica del municipio y la interconexión a la localidad de Amanavén (Vichada). Durante el desarrollo de la investigación, la actividad de generación estaba a cargo de la empresa GENSA S.A ESP, mientras que la comercialización de la energía la realizaba la empresa de Energía del Guainía EMELCE S.A ESP, que ofrece la mayor cobertura en redes de las ZNI, puesto abarca el 90% del total de la población.

GENSA S.A ESP, en el 2014 instaló un SSFV de 18 kWp, conformado por 72 paneles solares de 250 Wp cada uno, con conexión directa a red sin acumulación a través de 3 inversores monofásicos de 5 kW cada uno. Realiza monitoreo en tiempo real del consumo de la red de servicios auxiliares y la generación de energía del sistema solar, logrando sincronizar estas dos para inyectar energía a la red, validando de esta manera, la operación de la instalación y el autoconsumo. Cuenta con equipos de monitoreo de variables ambientales permite verificar el potencial solar en la zona.

La Granja Solar de Inírida (GSI) está ubicada en zona rural del municipio de Inírida, en las cercanías de la pista del aeropuerto Cesar Gaviria Trujillo. Se acopla y sincroniza a la central de generación diésel de Inírida, a través de una línea de interconexión con nivel de tensión de 34,5 kV y juntas que generan la potencia suficiente para el consumo de energía de la población (residencial, comercial, institucional, industrial, agropecuaria), principalmente para atender consumo de iluminación, electrodomésticos y alumbrado público. La GSI tiene un aporte entre el 10% y 30% de la demanda de energía durante el día. Está completamente automatizada, inicia su operación alrededor de las 6:00 am y deja de operar a las 5:00 pm al atardecer.

La entrada en operación de la granja solar de Inírida en el segundo trimestre del año 2020 fue un hecho relevante en materia de generación de energía limpia en las ZNI de Colombia. La Granja fue identificada en 2020 como la planta solar más grande instalada en las ZNI de Colombia. Fue construida principalmente con el propósito de disminuir la cantidad de combustible fósil utilizado para producir la energía eléctrica que requieren los habitantes del municipio de Inírida. Esta planta cumple con otras finalidades como mantener y superar unos indicadores de gestión fijados por la empresa encargada de la generación de energía en esa zona del país.

El proyecto de la Granja Solar de Inírida se realizó por intermedio de un inversionista, a través de un contrato de compraventa de energía tipo concesión BOMT de capital privado, con una duración de 10 años. El inversionista para ejecutar el proyecto realizó un préstamo en una línea de crédito verde de BANCOLOMBIA bajo la modalidad Leasing. A su vez estos recursos provenían de una línea de financiación para proyectos con FNCER en ZNI del BID y BANCOLDEX.

Dentro de las proyecciones a mediano plazo, se plantea realizar una ampliación de 4 MWp, aproximadamente incluyendo un sistema de almacenamiento, con el fin de incrementar la generación de energía con este tipo de tecnología, lo que permite realizar un reemplazo de diésel, como energético en el municipio de Inírida.

La confiabilidad del sistema solar se centra fundamentalmente en su dimensionamiento al valorar la disponibilidad energética del sistema mediante la probabilidad de perdida de carga, asociada básicamente con la radiación solar y la demanda de potencia, con el fin de que el sistema responda a la demanda de energía de manera eficiente y continua, se tiene de esta manera, que el sistema cuenta con una confiablidad entre el 70% y 90%.

La ejecución del proyecto de la Granja Solar se dividió en dos etapas, la primera fue la construcción de la Granja Solar y la segunda la operación y generación. En la primera etapa se generaron impactos sociales positivos principalmente en la generación de empleo, donde se contrataron 61 personas de Inírida, de las cuales 34 personas pertenecían a las comunidades indígenas. Así mismo se generó un impacto económico positivo, con la contratación en la zona de transportes, alimentos, actividades de topografía, obras civiles, entre otros. En la segunda etapa, se generaron 3 empleos directos para vigilancia y monitoreo del sistema y 20 empleos por año para los diferentes servicios de mantenimiento.

La radiación solar promedio en el municipio de Inírida es de 400 W/m^2, lo que permite que en un año se dejen de consumir aproximadamente 290.000 galones de diésel tipo B2, lo que implica una reducción de emisiones de GEI aproximadamente 2.970 Ton CO_2. Los costos de generación solar, comparados con los costos de generación diésel, presentan una disminución del 18%.

De acuerdo con los datos obtenidos por más de dos (2) años del sistema de monitoreo de la instalación solar de 18 kWp, y basados en el artículo primero de la Resolución CREG 243 de 2016, la cual define la metodología para determinar y estimar la energía firme para el cargo por confiabilidad ENFICC de una instalación solar; se realizó una comparación respecto a la energía mensual generada medida (1.635 kWh/mes) y los datos arrojados por el calculador (1.603 kWh/mes, promedio de generación de energía), encontrando que los datos tienen poca variación y confirman la viabilidad del SSFV.

3.2. Caso SSFV en Mitú

En el municipio de Mitú, la prestación del servicio de energía es de 24 horas al día, la generación se realiza con un sistema híbrido (diésel e hidráulica), con unidades a base de combustible líquido biodiesel tipo B9 (mezcla entre diésel y un porcentaje de aceite de palma); el sistema de Generación de Mitú está conformada por una central térmica la cual

cuenta con cinco (5) grupos electrógenos, con una capacidad total de 6.052 kW, la PCH cuenta con cuatro (4) unidades con una capacidad de 2.000 kW, línea de interconexión de 34,5 kV entre ambas centrales, para atender la demanda de energía eléctrica del municipio. Durante el desarrollo de la investigación, la actividad de generación estaba a cargo de la empresa GENSA S.A ESP, mientras que la comercialización de la energía estaba a cargo de la Gobernación del Vaupés.

Con el fin de viabilizar los proyectos con FNCE en el municipio de Mitú, GENSA S.A ESP, en el 2017 instaló un sistema solar de 47 kWp- Conformado por 171 paneles solares de 275 Wp. cada uno; tiene conexión directa a red sin acumulación a través de 2 inversores trifásicos. Se realiza monitoreo en tiempo real del consumo de la red de servicios auxiliares y la generación de energía del sistema solar, logrando sincronizar estas dos para inyectar energía a la red, validando de esta manera, la operación de la instalación y el autoconsumo.

El sistema solar instalado por GENSA S.A ESP, opera durante las horas de sol aprovechables e inyecta la energía producida a los consumos propios de la Central, como: aires acondicionados, equipos de cómputo, herramientas pequeñas, iluminación, entre otros, reduciendo el consumo de combustible para el funcionamiento en el día de la Central. El SSFV está instalado sobre la cubierta (techo) de la casa de máquinas de la Central, en un área aproximada de 350 m2, consta de un generador solar fotovoltaico, la protección de corriente alterna AC, las protecciones de corriente continua CC, dos inversores es trifásicos, los elementos de conexión y protecciones. Esta instalación cuenta con un sistema de sincronismo con la red interna de servicios auxiliares de la Central de Generación, lo que permite suplir los consumos propios.

En el municipio de Mitú, la generación de energía es tipo híbrido (diésel e hidráulica), GENSA S.A ESP instaló el sistema solar para la generación de energía con FNCER, lo que le ha permitido analizar la información real de variables como temperatura, radiación entre otras, y de este modo viabilizar proyectos con FNCER; con la generación de este sistema para el consumo interno (servicios auxiliares), se han dejado de emitir 30 TonCO2.

El sistema solar cuenta con la habilidad de responder parte de la demanda que se genera de los servicios auxiliares de la Central de manera continua y eficiente con una confiabilidad mayor al 90%. Se han presentado contingencias en el sistema por descargas atmosféricas lo que ocasiona salidas intempestivas de operación. La generación con el sistema solar no cubre la demanda de los servicios auxiliares, puesto que fue diseñado como plan piloto y dado que no cuenta con acumulación, este solo opera en las horas que se tiene radiación.

Aunque el proyecto por ser tan pequeño no incide en la tarifa de energía, se han tenido beneficios sociales con respecto a la disminución en la producción de CO2, diversificación de la matriz energética y cumplimiento de los objetivos organizacionales que tiene planteados GENSA S.A ESP. El sistema solar, generó 5 empleos en la fase de construcción.

4. Conclusiones

Casi el 90% de las localidades en las ZNI tienen como principal recurso energético la generación convencional con diésel, lo cual evidencia la poca aplicación de las iniciativas enmarcadas en las nuevas políticas en cuanto a incentivos para reemplazar el diésel, se evidencian vacíos en los esquemas que remuneran las actividades de operación y mantenimiento de la infraestructura.

Las ZNI al estar ubicadas en lugares de difícil acceso generan poco interés para la implementación de proyectos por los elevados costos de inversión y el bajo retorno que poseen tales proyectos; por otro lado una vez ejecutados, la poca capacitación, la falta de escolaridad de los operadores que se encuentran en la zona, las condiciones técnicas de control, operación y administrativas, la cultura de la región en cuestión de pago de tarifas, así como la baja confiabilidad hacen que se deban implementar nuevos métodos de trabajo que permitan subsanar tales adversidades y aumentar las condiciones de éxito a la hora de implementar proyectos en ZNI. Sin embargo, los casos de estudio evidencian como la ejecución de proyectos con FNCER en ZNI, son viables y contribuyen con la disminución del impacto ambiental, reduciendo la fuerte dependencia del diésel, subsanando la falta de suministro de energía eléctrica en las zonas de difícil acceso, contribuyendo de esta manera al desarrollo de las regiones a menores costos de kWh.

Los casos de estudio desarrollados en los municipios de Inírida y Mitú contribuyen a alcanzar los objetivos de la política energética del país, al diversificar la canasta energética nacional y en específico en las ZNI se analizan alternativas de energización con FNCER, viables financieramente y sostenibles en el tiempo, reduciendo la vulnerabilidad frente al cambio climático y a las fluctuaciones del valor del combustible (Diésel).

Los mapas de radiación del IDEAM son una fuente importante de información que permite analizar los valores mensuales y promedios multianuales, la radiación solar en el departamento de Guainía se encuentra en un rango entre 350 y 450 Wh/m^2 y para el departamento del Vaupés con valores superiores a 400 Wh/m^2. Los equipos de monitoreo como el sistema solar de 18 kWp en Inírida y de 47 kWp en Mitú han permitido contar con información real de las zonas como la temperatura, la radiación solar, el paso de nubes, que influyen en la generación solar. Para el caso de Inírida, se evidenció que las nubes pueden generar escenarios críticos en la generación, con pérdidas hasta del 80%, por lo cual se debe contar con un respaldo suficiente para asumir la disminución abrupta que se pueda presentar.

5. Referencias

- Archana, S. T., & Sanjay, B. B. (2019). The global survey of the electrical energy distribution system: a review. International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE), 9(4), 2247~2255. https://doi.org/10.11591/ijece.v9i4.pp2247-2255
- Carter, C. E., & Shafiullah, G. M. (2015). Feasibility study of photovoltaic (PV)-diesel hybrid power systems for remote networks. IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT ASIA). https://ieeexplore.ieee.org/document/7387123 https://doi.org/10.1109/ISGT-Asia.2015.7387123

- Castillo, Y., Castrillón Gutiérrez, M., Vanegas-Chamorro, M., Valencia, G., & Villicaña, E. (2015). Rol de las Fuentes No Convencionales de Energía en el sector eléctrico colombiano. Prospectiva, 13(1), 39-51. https://doi.org/10.15665/rp.v13i1.358
- Congreso de la República de Colombia, "LEY 1715 de 2014," Leyes desde 1992 - Vigencia expresa y control de constitucionalidad, 2014. [Online]. Available: http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1715_2014.html.
- Echeverry Cardona, L. F. (2018). Diagnóstico, perspectivas y desempeño de la energía solar fotovoltaica en el Departamento de Caldas. Manizales.
- Flórez, J., Tobón, D., & Castillo, G. (2009). ¿Ha sido efectiva la promoción de soluciones energéticas en las zonas no interconectadas (ZNI) en Colombia?: un análisis de la estructura institucional. Cuadernos de Administración, 22(38), 219-245.
- Franco, C, Dyner, I., Hoyos, S. (2008). Contribución de la energía al desarrollo de comunidades aisladas no interconectadas: un caso de aplicación de la dinámica de sistemas y los medios de vida sostenibles en el suroccidente colombiano. DYNA, Universidad Nacional de Colombia, 75(154), 199-214.
- Jiménez García, A. M. Restrepo Franco, L. F. Mulcue Nieto, (2019). "The State of Energy Research in Colombia: A View from the Research Groups," Rev. Fac. Ing., vol.28, n.52, pp.9-26, 2019. https://doi.org/10.19053/01211129.v28.n52.2019.9651
- Jiménez García, L. F. Echeverry Cardona, O. L. Ocampo López, y A. M. Restrepo Franco (2021). Caracterización de sistemas de energía solar fotovoltaica en una región colombiana, Investigación e Innovación en Ingenierías, vol. 9, n.° 2, pp. 157–174, sep. 2021. https://doi.org/10.17081/invinno.9.2.4517
- Gómez, N. (2011). Energización de las Zonas no Interconectadas a Partir de la Energías Renovables Solar y Eólica. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá D.C.: Pontificia Universidad Javeriana - Facultad de Estudios Ambientales Rurales. Hernández, J. A., Velasco de la Fuente, D., & Trujillo Rodríguez, C. L. (2011). Analysis of the effect of the implementation of photovoltaic systems like option of distributed generation in Colombia. Renewable and Sustainable Energy Reviews (15), 2290 - 2298. https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.02.003
- IPSE. (2017). Instituto de planificación y promoción de soluciones Energéticas para las zonas no interconectadas IPSE. Obtenido de http://www.ipse.gov.co/
- Ortiz M, D. C., Sabogal A, J., & Hurtado A, E. (2012). "Una revisión a la reglamentación e incentivos de las energías renovables en Colombia". Facultad de Ciencias Económicas: Investigación y reflexión, XX (2), 55-67. https://doi.org/10.18359/rfce.2164
- Posso, F., Acevedo, J., & Hernández, J. (2014). El impacto económico de las energías renovables. Aibi revista de investigación, administración e ingeniería, 2, 22 -26. https://doi.org/10.15649/2346030X.526
- Rozo Álvarez, C., & Ovalle Murcia, J. (2020). Estado de la cobertura eléctrica y las zonas no interconectadas en la región Central. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (2017). Zonas No Interconectadas – ZNI Diagnóstico de la prestación del servicio de energía eléctrica 2017. En: https://www.superservicios.gov.co/sites/default/files/inline-files/diagnosticozni-superservicios-oct-2017%20%281%29.pdf
- Restrepo, K. Salazar, O. L. Ocampo López, M.C. Vergara (2014). Análisis de la producción científica en energía en Caldas, Colombia, El hombre y la Máquina., vol. 45, pp 98-109, 2014. http://hdl.handle.net/10614/10698
- Villada Duque, J. M. López Lezama, and N. Muñoz Galeano (2017). Effects of Incentives for Renewable Energy in Colombia. Ing. Unv., vol. 21, no. 2, pp. 257-272. 2017. https://doi.org/10.11144/Javeriana.iyu21-2.eire

- Viviescas, L. Lima, F. A. Diuana, E. Vasquez, C. Ludovique, G. N. Silva, V. Huback, L. Magalar, A. Szklo, A. F.P Lucena, R. Schaeffer, J.R. Paredes. (2019). Contribution of Variable Renewable Energy to increase energy security in Latin America: Complementarity and climate change impacts on wind and solar resources", Renew. Sustain. Energy Rev., Volumen 113, 109232, 2019, Pages 1-16. https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.06.039
- Zhang, J. Ren, Y. Pu, P. Wang (2020). Solar energy potential assessment: A framework to integrate geographic, technological, and economic indices for a potential analysis, Renewable Energy, Volume 149, 2020, Pages 577-586, ISSN 0960-1481. https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.12.071

Sobre los autores

- **Olga Lucía Ocampo López**: Ingeniera Química, Especialista en Ingeniería Ambiental, Maestría en Ingeniería, Doctorado en Ingeniería. Profesora Titular. Investigadora Senior de la Universidad Autónoma de Manizales. olocampo@autonoma.edu.co
- **Andrea Osorio Escobar**: Ingeniera Electricista, Maestría en Administración de Negocios. andreaosorioe@autonoma.edu.co

---

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2025 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)