



PROYECTO ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA: DIAGNÓSTICO, PERSPECTIVAS
Y OPORTUNIDADES EN EL MARCO DE LA POLÍTICA ENERGÉTICA EN LAS ZNI

ANDREA OSORIO ESCOBAR

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MANIZALES
FACULTAD DE ESTUDIOS SOCIALES Y EMPRESARIALES
MAESTRÍA EN ADMINISTRACIÓN DE NEGOCIOS
MANIZALES

2021

PROYECTO ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA: DIAGNÓSTICO, PERSPECTIVAS
Y OPORTUNIDADES EN EL MARCO DE LA POLÍTICA ENERGÉTICA EN LAS ZNI

Autora

ANDREA OSORIO ESCOBAR

Proyecto de grado para optar al título de Magister en Administración de Negocios

Tutor

PhD. Olga Lucia Ocampo López

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MANIZALES
FACULTAD DE ESTUDIOS SOCIALES Y EMPRESARIALES
MAESTRÍA EN ADMINISTRACIÓN DE NEGOCIOS

MANIZALES

2021

RESUMEN

La generación de energía con fuentes no convencionales de energía, en especial con Sistemas Solares Fotovoltaicos (SSFV), ha crecido muy rápidamente en los últimos años en Colombia. En las Zonas no Interconectadas, dicha implementación ha permitido diversificar la canasta energética del país, lo que impacta positivamente el medio ambiente, y amplía la cobertura del servicio de energía y permitiendo que las poblaciones más apartadas del país cuenten con este servicio, aportando al desarrollo de las regiones.

En este trabajo se presenta la caracterización de las perspectivas y oportunidades para la integración de la energía solar en los casos de estudio de Inírida y Mitú. En este trabajo se recopiló información de variables climáticas, sociales, ambientales y económicas; información relevante sobre diferentes fuentes de investigación y proyectos que se han realizado en las Zonas no Interconectadas. Posteriormente se aplicó el instrumento de recolección para la caracterización de los SSFV del caso de estudio. Se espera como resultados de esta investigación la generación de nuevo conocimiento y formación de recurso humano que llevan a tener mayor información y comprensión de los SSFV en las Zonas no Interconectadas.

Palabras Claves: Energía solar fotovoltaica, radiación solar, desarrollo sostenible.

ABSTRACT

The generation of energy with unconventional energy sources, especially with SSFV has grown very rapidly in recent years in Colombia, in the Non-Interconnected Zones, such implementation has allowed diversifying the country's energy basket, positively impacting the environment, expanding the coverage of the energy service and allowing the most remote populations of the country to have this service, contributing to the development of the regions.

This work presents the characterization of the perspectives and opportunities for the integration of solar energy in the case studies of Inírida and Mitú. This work will collect information on climatic, social, environmental and economic variables; Relevant information on different research sources and projects that have been carried out in the Non-Interconnected Zones, subsequently the collection instrument will be applied to characterize the SSFV of the case study. The results of this research are expected to generate new knowledge and training of human resources that lead to greater information and understanding of the SSFV in the Non-Interconnected Zones.

Keywords: Photovoltaic solar energy, solar radiation, sustainable development.

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	13
2	ANTECEDENTES.....	16
2.1	ENERGÍAS ALTERNATIVAS O RENOVABLES.....	16
2.2	MARCO INSTITUCIONAL.....	17
2.3	FNCER EN COLOMBIA.....	19
3	DESCRIPCIÓN DEL ÁREA PROBLEMÁTICA Y PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	24
4	JUSTIFICACIÓN.....	26
5	REFERENTE TEÓRICO.....	28
5.1	MERCADO ENERGÉTICO.....	28
5.2	TECNOLOGÍAS DE ENERGÍA RENOVABLES.....	29
5.3	FINANCIAMIENTO DE PROYECTOS CON FNCER.....	38
5.3.1	Indicadores Económicos.....	40
5.3.2	Indicadores Ambientales.....	42
5.3.3	Indicadores De Confiabilidad.....	43
5.3.4	Indicadores Sociales.....	44
6	REFERENTE LEGAL.....	47
7	REFERENTE CONTEXTUAL.....	49
8	OBJETIVOS.....	54
8.1	OBJETIVO GENERAL.....	54
8.2	OBJETIVO ESPECÍFICO.....	54
9	METODOLOGÍA.....	55

9.1	ENFOQUE Y TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	55
9.2	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	55
9.3	UNIDAD DE TRABAJO Y UNIDAD DE ANÁLISIS	56
9.4	PROCEDIMIENTOS, TÉCNICOS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN	56
10	RESULTADOS	58
10.1	CARACTERIZACIÓN DE LOS SISTEMAS PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN LOS CASOS DE ESTUDIO EN ZONAS NO INTERCONECTADAS	58
10.1.1	Características Técnicas del Sistema Inírida - Guainía	58
10.2	Características Económicas del Sistema Inírida - Guainía	65
10.2.1	Características Ambientales del Sistema Inírida - Guainía	67
10.2.2	Características de Confiabilidad del Sistema Inírida - Guainía.....	68
10.2.3	Características Técnicas del Sistema Mitú – Vaupés	71
10.2.4	Características Económicas del Sistema Mitú – Vaupés.....	74
10.2.5	Características Ambientales del Sistema Mitú – Vaupés	75
10.2.6	Características de Confiabilidad del Sistema Mitú – Vaupés.....	75
10.2.7	Características Social del Sistema Mitú – Vaupés	76
10.3	CONDICIONES QUE CONTRIBUYEN CON LA FACTIBILIDAD DE PROYECTOS DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN ZONAS NO INTERCONECTADAS	76
10.3.1	Potenciales Energéticos	79
10.4	PERSPECTIVAS Y OPORTUNIDADES PARA LA INTEGRACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	86
11	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	97

11.1	CARACTERIZAR LOS SISTEMAS PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN LOS CASOS DE ESTUDIO EN ZONAS NO INTERCONECTADAS.....	97
11.2	CONDICIONES QUE CONTRIBUYEN CON LA FACTIBILIDAD DE PROYECTOS DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN ZONAS NO INTERCONECTADAS.....	99
11.3	PERSPECTIVAS Y OPORTUNIDADES PARA LA INTEGRACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	103
12	CONCLUSIONES.....	106
13	RECOMENDACIONES.....	108
14	BIBLIOGRAFIA.....	110
15	ANEXOS.....	120

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Análisis costo beneficio social y financiero	45
Tabla 2. Proyectos de FNCE con certificación - Tipo de Fuente	52
Tabla 3. Proyectos de FNCE con certificación – Rango de capacidad	52
Tabla 4. Información Técnica.....	61
Tabla 5. Información Técnica.....	74
Tabla 6. Demanda máxima mes en kW/usuarios en algunas localidades ZNI.....	77
Tabla 7. Demanda máxima en kW/usuarios en el SIN.....	77
Tabla 8. Comparativo Tecnologías.....	83
Tabla 9. Normatividad que aplica a la Ley 1715 de 2014.....	88
Tabla 10. Características Resolución CREG 091-2017.....	91
Tabla 11. Características de las localidades ZNI.....	93
Tabla 12. Política pública y arreglos Institucionales para la gestión.....	104

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Radiación Global Horizontal Medio Diario Anual (Colombia).....	33
Figura 2. Intensidad Energética en Consumo Final (TJ/MILES DE MILLONES DE COP – BASE 2005).....	37
Figura 3. Intensidad Energética en Consumo Final (TJ/MILES DE MILLONES DE COP – BASE 2005).....	37
Figura 4 Estructura de Participación Sectorial en el Consumo de Electricidad	38
Figura 5 Distribución espacial ZNI en Colombia.....	50
Figura 6. Distribución tipo de fuente generación energía en Colombia.....	51
Figura 7. Diseño de la Investigación	55
Figura 8. Curva de Potencia	60
Figura 9. Esquema general de equipos sistema solar Central de Generación de Inírida.....	61
Figura 10. Esquema básico de la Granja Solar de Inírida	62
Figura 11. Curvas Intensidad Duración Frecuencia – IDF Estación Tuparro Bocas Tomo (Cumaribo)	65
Figura 12. Radiación solar máxima por horas en el mes de la Estación MITÚ 2019/07-2019/12.....	73
Figura 13. Curva de carga día de máxima demanda para el 26 de abril de 2016.....	78
Figura 14. Atlas de viento y energía eólica en Colombia promedio multianual	82
Figura 15. Costo unitario de kWh en algunas localidades de las ZNI	92

SIGLAS Y ABREVIACIONES

CREG	Comisión de Regulación de Energía y Gas
DNP	Departamento Nacional de Planeación
ER	Energías Renovables
FNCER	Fuentes no convencionales de energías renovables
FNCE	Fuentes no convencionales de energías
FV	Foto voltaicas
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GSI	Granja Solar de Inírida
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
I+D+i	Investigación, Desarrollo e Innovación
IE	Intensidad de Energía
MME	Ministerio de Minas y Energía
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas
PIB	Producto Interno Bruto
SIN	Sistema Interconectado Nacional
SSFV	Sistemas Solares Fotovoltaicos
UPME	Unidad de Planeación Minero Energética
ZNI	Zonas no Interconectadas
ZN	Zona interconectada

1 INTRODUCCIÓN

La creciente evolución y participación de las energías renovables en el mercado mundial de la energía está teniendo consecuencias positivas e importantes, no solo por la energía limpia aportada, sino por los efectos positivos en el medio ambiente, en específico con la disminución de la generación con carbón o gas, que contribuye a disminuir las emisiones atmosféricas, aporta al cambio climático y al desarrollo de las poblaciones, lo que genera un efecto positivo en la economía de los países. En el caso de Colombia se ha venido ganando terreno; así lo demuestra la UPME (Unidad de Planeación Minero Energética), la cual indica que para los próximos años en Colombia hay más de 403 proyectos de tipo solar para desarrollarse (Mundo Eléctrico, 2019).

En el territorio colombiano, por su topografía se establecen las Zonas no Interconectadas (ZNI), definidas como aquellas áreas geográficas “donde no se presta el servicio público de electricidad a través del Sistema Interconectado Nacional (SIN)” (Congreso de la Republica, artículo 11, Ley 143, 1994), abarca aproximadamente un 51% del territorio; de esta manera Colombia ha venido trabajando muy fuerte en la legislación, lo que ha permitido implementar la generación de energía con FNCE para estas zonas, no solo en generación a escala, sino en autoconsumo, aportando a la disminución de los gases de efecto invernadero, y ampliar la cobertura del servicio de energía.

La demanda de energía tiene una dependencia directa al crecimiento de la población, desarrollo tecnológico, el aumento de las actividades comerciales, industria y transporte, lo que aporta al desarrollo de los países, que es un indicador de desarrollo económico y social; atrayendo de esta manera a los inversionistas.

La disminución de los costos de los sistemas solares fotovoltaicos, junto con el incremento de la eficiencia de las celdas FV, y a los incentivos tributarios que pueden obtener con la inversión de este tipo de proyectos con la Ley 1715, permiten diversificar la canasta energética del país y aportar a las metas que Colombia tiene para el 2030, de pasar del 26% al 49% de generación con energía renovable.

En las ZNI se han venido desarrollando proyectos con fuentes no convencionales de energía. Por ejemplo, a gran escala se implementó la granja solar en Inírida y se han instalado soluciones individuales en otras zonas no interconectadas, que han permitido garantizar la prestación del servicio en zonas tan apartadas del país, y en donde la mayoría de los Municipios generan energía con plantas de generación a diésel. Pero de estos proyectos poco se conoce y se requiere de una mayor difusión, de forma tal que se pueda dar a conocer las lecciones aprendidas, sobre todo lo que implica la implementación de estos proyectos en estas zonas tan apartadas y de tan difícil acceso.

La caracterización de los SSFV instalados en Mitú e Inírida, permite tener un referente para estas zonas, dado que en la revisión de información y antecedentes se conoce muy poco de la aplicabilidad de SSFV en las ZNI, esto en gran parte por la falta de información al respecto de la medida del potencial energético en las localidades de características similares, ha sido un obstáculo para pasar de la etapa de preinversión a un paso más conveniente como lo es la prefactibilidad de un proyecto. También, se determinaron las condiciones técnicas, sociales, económicas y ambientales que contribuyen con la factibilidad de proyectos de energía solar fotovoltaica en las ZNI. Finalmente, con el análisis de la información de esta investigación se identificaron las perspectivas y oportunidades para la integración de la energía solar fotovoltaica en el marco de las políticas públicas territoriales y la gestión de negocios de energía en los casos de estudio para zonas no interconectadas.

Los resultados de esta investigación serán de utilidad para que los entes territoriales de las ZNI y el Gobierno en general cuenten con insumos para la definición de políticas públicas que apalancen y promuevan proyectos con Fuentes no Convencionales de Energía (FNCE), y a su vez, se contribuya a la diversificación de la canasta energética de nuestro país.

El documento está estructurado en tres partes. En la primera se presenta una descripción del problema, se ilustran los objetivos planteados para la investigación y los referentes, teórico, contextual y legal. En la segunda, se ilustra la metodología y los resultados obtenidos.

Finalmente, se presenta la discusión de los resultados, las conclusiones, las recomendaciones y el respaldo bibliográfico de esta investigación.

2 ANTECEDENTES

El incremento de la conciencia que ha tenido el ser humano frente a la actividad humana (como causante principal en el fenómeno del cambio climático), ha llevado a que sea tratado como problema ambiental global. El cambio climático, es una de las expresiones frecuentes en los actuales debates en el marco de la dicotomía entre crecimiento económico y ambiente. El centro de la estrategia de los países en términos de desarrollo económico, depende en buena medida del consumo energético de combustibles fósiles con la consecuente emisión de gases efecto invernadero y este es un ciclo que se repite con un incremento continuo de impactos ambientales en el sistema climático global (Sabogal & Moreno, 2011).

Dada esta dicotomía se busca la reducción de emisiones en la atmósfera sin limitar las posibilidades de crecimiento económico. En ese contexto, Baeza afirma que “la generación eléctrica debe garantizar el suministro, asegurar unos costes energéticos competitivos para la economía productiva y garantizar la sostenibilidad medioambiental” (Baeza, 2007), de manera que los modelos del mercado energético, las fuentes de energías y tecnologías y la gestión de la demanda energética, se convierten en herramientas para lograr este objetivo.

2.1 ENERGÍAS ALTERNATIVAS O RENOVABLES

Ante los efectos negativos de la utilización de combustibles fósiles y la emisión de gases efecto invernadero, surgen avances tecnológicos en favor de energías más limpias, lo que pretende reducir la dependencia de los combustibles fósiles, disminuir la emisión de gases efecto invernadero y evitar problemas de seguridad por la implementación de energía atómica, entre otras (Ortiz M, Sabogal A, & Hurtado A, 2012).

A nivel mundial han surgido diversidad de iniciativas y nuevos desarrollos tecnológicos, para la generación de energía; de esta manera se tiene un crecimiento muy rápido en el mercado de las energías renovables; lo que permite al ser humano generar menor impacto a nivel ambiental y mayor sostenibilidad en el tiempo.

Sí bien las energías alternativas no son una invención del siglo XXI, pues su utilización proviene de antaño; la necesidad de sostener el ambiente y afrontar la crisis energética nos ha llevado a acelerar el uso de las tecnologías para la utilización dichas energías (Pereira Blanco, 2015). Las energías renovables (ER) han tenido un progreso considerable en las últimas décadas, al tener una participación significativa en el mercado energético mundial, para sustituir a los combustibles fósiles y con posibilidades de convertirse en el principal recurso primario de energía en el mediano plazo.

El crecimiento sostenido de las ER y el interés que despiertan pueden explicarse por las ventajas que supone su aprovechamiento, tales como su contribución a la reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y otros contaminantes; la disminución de la dependencia energética; la diversificación de la matriz energética; la contribución a la creación de empleo, en especial en el sector rural; y su aporte a la innovación y desarrollo tecnológico (Posso, Acevedo, & Hernández, 2014). Por lo que la generación de energía con estas fuentes 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.

2.2 MARCO INSTITUCIONAL

De acuerdo con el artículo 2 de la Constitución Política de Colombia, entre las finalidades del Estado de derecho colombiano se encuentran la de servir a la comunidad, promover la prosperidad y garantizar los derechos y deberes: todos estos componentes se traducen en el bienestar de la población. De acuerdo con lo anterior, los gobiernos deben garantizar las condiciones mínimas que permitan a la población alcanzar el bienestar y proveer los mecanismos para acceder a la energía y a la electricidad. Esto es, en principio, un indicador de bienestar (Ortiz, A. C, García, C. L. E., Parra, A. P., 2019). Lo que quiere decir que asegurar la prestación eficiente y continua del servicio de energía a toda la población del territorio colombiano, es inherente a la finalidad del Estado Social de Derecho.

A partir de 1938 se declara como servicio público fundamental el suministro de energía eléctrica (IPSE, 2017), de donde es responsabilidad del Estado colombiano asegurar la

prestación eficiente a todos los habitantes del territorio nacional (Artículo 365, Constitución Política de Colombia, 1991, 4 de julio). De igual manera con la Ley 855 de 2003, en las ZNI, que se entienden como municipios, corregimientos, localidades y caseríos no conectados al Sistema Interconectado Nacional (SIN) (Flórez , Tobón, & Castillo, 2009), se da responsabilidad directa al Estado de garantizar la prestación del servicio aun en zonas alejadas del SIN.

Así mismo, mediante la promulgación de las leyes 142 (Ley de servicios públicos) y 143 (Ley eléctrica) de 1994, se genera un nuevo referente con respecto a la prestación de los servicios públicos domiciliarios, en particular el de la energía eléctrica. Este marco institucional logró concentrar y regular la globalidad del negocio, en el que se incluye la generación, transmisión, distribución y comercialización, con lo cual se buscaba, un grado superior de desarrollo en materia de cobertura y calidad en el SIN, donde además se señaló y delimitó la existencia de las ZNI. (Bustos G., Sepulveda, & Triviño A., 2014).

La Ley 1715 de 2014 constituye un importante logro para estimular la diversificación de la matriz energética actualmente vigente en Colombia gracias a los estímulos tributarios que pueden recibir los inversionistas en los proyectos de generación con fuentes renovables. La Ley también constituye un modelo a seguir por países vecinos y en su momento constituyó una excelente noticia recibida por el gremio de generadores de energía y por los usuarios interesados en cogenerar parte de sus consumos energéticos (Correa Henao, 2017); contribuyen de esta manera a la factibilidad requerida de los proyectos de este tipo y lograr que estos sean competitivos. De esta manera, se podría suplir generación distribuida a más de un millón de hogares en distintas zonas del territorio nacional (Hernandez, Velasco de la Fuente, & Trujillo Rodriguez, 2011).

En Colombia aproximadamente el 51% del territorio nacional corresponde a las ZNI (Rivera & Ñustes, 2017); debido a que las poblaciones se encuentran sumamente dispersas, los costos por kW producido son mucho mayores que en el resto del país e incluso mucho mayor al promedio mundial (CREG, 2013), por tanto, es importante la implementación de energías alternativas para la generación de energía en las ZNI, pero dicha implementación debe hacerse de la mano con el Estado, puesto que es necesario que reduzca la brecha

tecnológica, social y económica en que viven los pueblos o comunidades sin electricidad. El desarrollo de dichos proyectos debe garantizar acceso a la energía a costos razonables y sin tener impactos ambientales, dado que dichas zonas cuentan con una gran biodiversidad y son el pulmón de Colombia.

2.3 FNCER EN COLOMBIA

Desde hace varios años en Colombia se tienen diferentes iniciativas para fomentar la implementación de generación de energía con fuentes no convencionales de energía (FNCER) (SER Colombia, 2017), siendo esta una alternativa para atender la demanda de las ZNI, puesto que para el abastecimiento de energía, se utiliza grupos electrógenos a base de combustibles fósiles (diésel), que producen gases de efecto invernadero y presentan una contaminación de tipo auditiva. Se tiene de esta manera una contribución a la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero (Rozo Álvarez & Ovalle Murcia, 2020).

Uno de los incentivos más fuertes que pueden existir en la actualidad, es el uso de fuentes alternativas de energía y el desarrollo sostenible. El Gobierno Nacional empezó a tomar medidas en torno a estos dos temas en el año 2000; específicamente para las ZNI a través del IPSE se emitió el “*Plan de trabajo para el mecanismo de desarrollo limpio*”, que buscaba identificar y realizar el potencial de este mecanismo, representado en proyectos de suministro de energía eléctrica en las ZNI (Flórez , Tobón, & Castillo, 2009). Para lo cual se realizó un estudio denominado *Diagnóstico de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) por suministro de energía en ZNI*. En este se establecieron los usos que se les dan a la energía, las fuentes que se utilizan para generarla y las condiciones en que es suministrada la electricidad (horas al día, precio, costos, interrupciones, etc.), lo anterior para proyectar la demanda de electricidad en dichas zonas. Por lo que se puede concluir que hoy en día es más viable y menos exigente la implementación de los proyectos de mecanismos de desarrollo limpio para las ZNI.

El nivel de aprovechamiento de los sistemas fotovoltaicos en Colombia es inferior frente a países como Alemania en los cuales la disponibilidad del recurso solar (radiación) es menor que la de este país; pues la capacidad instalada de energía solar fotovoltaica en Colombia

crece anualmente alrededor de 1 GW (Gómez Ramírez, Jhonnatan; Murcia Murcia, Jairo D; Cabeza Rojas, Ivan;, 2016 - 2017), lo cual no es notorio. Donde más se utiliza la energía solar fotovoltaica en Colombia ha sido en el sector rural y ZNI, lo que ha permitido que se pueda prestar este servicio básico en zonas alejadas o de difícil acceso; según apuntan Gómez Ramírez & otros (2016-2017), para poder impulsar más el uso de estas tecnologías, es necesario buscar un punto equilibrio donde el costo de la energía de origen fotovoltaico sea igual al costo de la energía eléctrica convencional, esta estrategia ha sido implementada en países como Alemania, Italia y España, lo que les permitió a estos países un desarrollo en su economía y en los sistemas de energía eléctrica.

La prestación del servicio público en las ZNI es deficiente, discontinua, costosa y de baja cobertura (Franco, Dyner, & Hoyos, 2007). Las ZNI requieren una solución que brinde un suministro local de energía que sea sostenible, constante, confiable y económicamente asequible. Las FNCER, se constituyen como una solución para la energización de las ZNI, para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero y promover el uso eficiente de los recursos naturales (UPME, 2002_2005), (Gómez N. , 2011). Dentro de los avances del Gobierno colombiano a través de la UPME, la CREG y el IPSE se encuentran estudios realizados por dichos entes estatales que han permitido que a través de resoluciones asociadas a los subsidios para la generación de energía a las ZNI, los diferentes decretos y la ley 1715 del 13 de mayo de 2014, han incentivado la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional (IPSE, 2017).

Dado que el interés por la generación de energía con FNCER (Fuentes No convencionales de Energía Renovables) y en particular en la solar, tanto a nivel de planificación Estatal como en el sector de I&D, ha estado al vaivén de las crisis de energía (Rodríguez Murcia, 2009). Se puede concluir en el análisis realizado que se debe orientar las acciones estatales para el desarrollo de dichas fuentes, en tres aspectos que son: primero, la importancia de diversificar la canasta energética nacional para dar flexibilidad al sistema de suministro de energía, necesario frente a un futuro lleno de incertidumbres. Segundo, la importancia de las FNCER frente a los problemas causados principalmente por el impacto ambiental del uso de los combustibles fósiles y el agotamiento de sus reservas. Y, tercero, las FNCER

pueden jugar un papel importante en el suministro de energía en zonas remotas y aisladas (ZNI), en las que aproximadamente un millón de familias en Colombia carecen de un servicio confiable de energía eléctrica, por lo que solamente un programa coherente podrá asegurar el desarrollo de las FNCER en el país y la utilización de sus recursos.

Por su ubicación geográfica, Colombia cuenta con una exposición a la luz del sol durante 12 horas diarias, los 365 días del año (Mesa, Escobar Mejia, & Hincapie Isaza, 2009), por lo que cuenta con alta capacidad de producción fotovoltaica, presentando niveles de radiación constantes (Erazo Checa & Erazo de la Cruz). En el estudio *La gestión para cadena de suministro de sistemas de energía solar fotovoltaica en Colombia y su situación actual (2018)*, se afirma que Colombia cuenta con una irradiación que supera el promedio mundial, lo que favorece positivamente el potencial del país en energía solar fotovoltaica. 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/m²/d, que supera el promedio mundial de 3.9 kWh/m²/d, estando por encima de Alemania (3.0 kWh/m²/d), país que hace el mayor uso de la energía solar en el mundo (FISE, 2019).

El sol es la fuente de energía más potente e inagotable con la cual cuenta la humanidad. La energía que llega a la tierra durante un año es de $4,03 \times 10^{24}$ Joule la cual es equivalente a 6.720 veces la necesidad energética del mundo. La Radiación solar puede ser considerada como gran cantidad de energía solar que llega a nuestro planeta tierra después de recorrer, por el espacio, una distancia de 150 millones de kilómetros a una velocidad de 300 mil km/s, en un tiempo de 8 minutos y 18 segundos aproximadamente. Radiaciones electromagnéticas (fotones) de diferentes frecuencias y longitudes de onda atraviesan la atmósfera y alcanzan la superficie terrestre (Como disponer de energía solar fotovoltaica conectada a la red eléctrica, 2003).

El brillo solar, también conocido como insolación, es el número de horas de brillo o de radiación directa, para Colombia el máximo valor de brillo solar varía entre 11,3 - 12,6 h/d, estos valores se pueden ver afectados causando una reducción por la nubosidad, la orientación, la exposición de las laderas, y la amplitud del horizonte (Echeverry Cardona , 2018). De lo cual podemos concluir que Colombia al ser un país ubicado en la zona de

confluencia intertropical, con condiciones únicas, los sistemas fotovoltaicos tienen un buen funcionamiento.

Colombia tiene gran potencial para generar electricidad en lugares remotos, apartados, de difícil acceso, como son las ZNI y en donde el costo de generación de energía es muy elevado. Se constituye una de las mejores soluciones para cumplir los compromisos adquiridos en el COP 21: detener el cambio climático, diversificar la matriz energética, garantizar la estabilidad y la confiabilidad del suministro energético, sobre todo para las poblaciones más apartadas del territorio nacional. Además, la implementación de generación de energía con FNCER impacta y aporta al desarrollo de la economía del país, impulsa el desarrollo de nuevos mercados con productos o servicios innovadores en sectores como el transporte, el residencial, industrial, educación, salud, comercial, entre otros.

Factibilidad

Los estudios de factibilidad de incursión de los paneles solares en un mercado emergente es un tema que ha sido ampliamente estudiado en los últimos años no sólo para el caso de Colombia sino también para otros continentes como Europa y Asia donde a pesar de que esta tecnología no es nueva en dichos territorios, todavía existe escepticismo en cuanto a su incursión lo que da cabida a investigaciones que demuestren sus beneficios como opción de generación eléctrica (Bitar S. & Chamas B, 2017).

Las últimas investigaciones han demostrado la factibilidad de la implementación de sistemas fotovoltaicos en distintos países como lo hizo el estudio realizado por Sandy Rodríguez y su grupo de investigación de la universidad de Pittsburg y la universidad de Madeira. El objetivo de dicha investigación fue analizar y comparar la factibilidad económica en diferentes zonas de todo mundo como Brasil, Sur África, Japón y países de la Unión europea como Italia, Alemania e Inglaterra. El estudio analizó distintos factores como la disponibilidad del recurso solar, las tarifas a las que las distribuidoras venden la energía eléctrica y las políticas gubernamentales que ofrecen cada uno de los países donde se instalaron los sistemas fotovoltaicos que fueron evaluados. La conclusión principal de la investigación fue que la factibilidad de la incursión de estos sistemas depende de tres

factores: el costo de la energía eléctrica, el recurso solar de la zona y los incentivos tributarios ofrecidos por el gobierno (Rodrigues, y otros, 2016).

Los diferentes investigadores han analizado la generación de energía a base de combustibles fósiles (diésel) y la generación con FNCER en las zonas más apartadas del país, utilizando indicadores financieros como la TIR (tasa interna de retorno), el VPN (valor presente neto) y el tiempo de retorno de la inversión. Han encontrado que aunque los sistemas fotovoltaicos poseen una mayor inversión inicial, al revisar los costos unitarios de generación de energía con este sistema, estos son significativamente menores a los costos de generación con diésel, dado que los costos de operación y mantenimiento a largo plazo aumentan los costos; se concluye, que la generación con FNCER generan una mayor rentabilidad a mediano y largo plazo, siendo muy viable la ejecución de estos proyectos en las ZNI o en zonas rurales en donde no es posible tener fácil acceso a la energía a través del SIN.

3 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA PROBLEMÁTICA Y PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

El crecimiento de la demanda de energía a nivel mundial se debe al crecimiento poblacional y de la economía, la cual se estima que crezca un 55% sobre las necesidades energéticas globales que se tienen en la actualidad (IRENA, 2019). La energía juega un papel importante para el desarrollo del hombre y repercute significativamente en el aumento de su calidad y esperanza de vida, puesto que le permite en su día a día “disfrutar” de diferentes actividades como cocinar, alumbrado, calefacción, transporte, comunicaciones, confort, uso de tecnologías nuevas, diversión, lo que hoy por hoy han generado un grado de dependencia hacia las fuentes de generación de energía.

La generación energética mundial concentra el 66,7% de la producción energética en once (11) países (Archana & Sanjay , 2019), muestra dos escenarios en su dinámica de crecimiento: un primer período 2006 –2011 con una tasa positiva del 10.7% y un segundo período 2011 –2016 con una tasa más baja del 5.5%. En el contexto mundial Colombia muestra la misma tendencia de crecimiento, con dos períodos diferenciados: 2006 –2011 con un crecimiento del 42.8% y un segundo período 2011 – 2016 con una tasa del 4.1%.

En igual proporción crece las preocupaciones por parte de los ambientalistas en cuanto al impacto ambiental del uso de los recursos energéticos, esto ha llevado a la implementación y uso de energías renovables en la matriz energética de los países. Es así como estas energías renovables se convierten en una opción para enfrentar las necesidades de las grandes economías, así como las emergentes. Colombia siendo en América Latina un país emergente, está rezagado en la implementación de energías renovables, las cuales solo se encuentran al 2,71% de la capacidad instalada según lo reporta XM (XM S.A ESP, 2015).

El Gobierno colombiano con el apoyo del Banco Mundial, desarrolló un estudio sobre aspectos energéticos para la Misión de Crecimiento Verde, la cual pudo establecer que la barrera más importante para contar con una mayor participación de las FNCER en la oferta energética del país consiste en las dificultades que se enfrentan cuando se quiere desarrollar y financiar proyectos de generación de energía con base en estas tecnologías. En ello confluyen distintos aspectos relacionados con la estructura de costos, las expectativas de

ingresos, los mecanismos de financiación de los proyectos, el diseño actual del mercado y el nivel esperado de ingresos por ventas en bolsa (Enersinc, 2018) que contribuye a una alta percepción de riesgo por parte del sector financiero y dificulta la financiación de estos proyectos en condiciones favorables de tasa y plazo. Estas barreras fueron identificadas por el Ministerio de Minas y Energía y son parte de la motivación del Decreto 0570 de 2018 (DNP; Fedesarrollo; GGGI; PNUMA, 2017).

Adicionalmente los Gobiernos afrontan tres complicados aspectos fundamentales de la energía, más conocido como el “*Trilema Energético*”, como son: la seguridad del suministro, acceso universal a la energía y la mitigación del impacto ambiental. Dentro del buen desempeño del trilema energético en Colombia se destacan las dimensiones de sostenibilidad y equidad, pero se debe profundizar en la variable seguridad, ya que esta ha ido desmejorando, debido a la alta dependencia del recurso hídrico para la generación eléctrica (World Energy Council, 2020).

En las ZNI, donde hay cobertura del servicio de energía, el servicio se presta por algunas horas y es costoso (Flórez , Tobón, & Castillo, 2009), debido a que la energía se debe generar en las mismas zonas, se debe contar con recursos energéticos, como el combustible líquido, teniendo dificultad con el medio de transporte, dado que en su mayoría es fluvial, y se dificulta la navegabilidad de los ríos por las épocas del año, por la topografía de la zona, lo que conlleva que el costo del combustible sea elevado (Gómez N. E., 2011), afectando directamente el costo de la energía y la prestación confiable del servicio.

En la medida de lo posible, las sociedades en general, y en particular la sociedad colombiana, deben estar encaminadas hacia la búsqueda de las fuentes de energías renovables como fuentes energéticas principales, reduciendo progresivamente la necesidad de los combustibles fósiles y el carbón que, por su naturaleza, son recursos no renovables (Arce , G.; Ortiz, R.; Valencia, J., 2017), para estas zonas. De este modo Colombia alcanzará las metas planteadas de diversificar la matriz energética del país, y garantizar el suministro de energía a las zonas más apartadas del país, lo que redunda en beneficios sociales, ambientales y económicos, de acuerdo a la Ley 1715 de 2014; la cual busca sustituir progresivamente la generación con combustibles fósiles.

4 JUSTIFICACIÓN

Varios países tienen como objetivo diversificar su canasta energética, con el incremento del uso de las energías renovables, en procura de ser eficientes y tener un servicio confiable, adicional de los beneficios tributarios que trae y el aporte positivo al cambio climático; Colombia no puede ser la excepción, por ello el Gobierno Nacional implementó la Misión de Transformación energética y modernización de la industria eléctrica, el cual tiene como uno de los focos el cierre de las brechas, mejora de la calidad, diseño y formulación eficiente de subsidios, para ello es necesaria la intervención pública y privada en las empresas prestadoras de servicio eléctrico en las ZNI, para hacer atractivos y seguros las inversiones en el sector.

Recientemente, en Latinoamérica, la utilización de FNCE ha logrado ingresar a la oferta de los mercados de electricidad como consecuencia de una política energética de integración de energías limpias y bajas en carbono para la reducción de emisiones de CO₂.

En relación con las FNCE, el Gobierno Nacional elaboró una propuesta como parte del componente de equidad del Plan Nacional de Desarrollo 2018 -2022 “*Pacto por Colombia, Pacto por la Equidad*”, el cual establece un acercamiento a las posibilidades de aporte de las FNCE a la diversificación y adaptabilidad de la matriz energética, la seguridad energética nacional y al desarrollo económico, social y ambiental del país, con visión de mediano y largo plazo, en algunos referentes económicos que justifican y dimensionan metas de implementación.

El Gobierno Nacional consideró necesaria la reducción en la brecha de acceso al servicio de energía eléctrica, razón por la cual trazó como meta durante el cuatrienio la electrificación de, como mínimo, cien mil usuarios nuevos. De igual manera identificó la conveniencia de que el cierre de brecha en acceso al servicio de energía incorpore el uso de Fuentes No Convencionales de Energía en los términos de la Ley 1715 de 2014, razón por la que indicó que el “(...) Ministerio de Energía y sus entidades adscritas promoverán el desarrollo de nuevos mecanismos para la ampliación de cobertura y la promoción de las FNCE, buscando motivar e incorporar la participación privada en la prestación del servicio en las zonas hoy sin cobertura (...)”.

Con la ley 1715 de 2014 se reduce la carga tributaria para los proyectos de generación con energías renovables (UPME, 2015). Esta iniciativa reduce los costos de inversión en los proyectos de generación, los cuales a largo plazo representan un ahorro, son amigables con el medio ambiente, no dependen de combustibles fósiles, mejoran la calidad de la red eléctrica y fortalecen la matriz energética, convirtiéndose en un referente para el desarrollo de las tendencias en materia de energía renovables.

El desarrollo de proyectos con FNCER tienen un impacto positivo a nivel ambiental, social y económico en la región en donde se desarrolla el proyecto, puesto que la normatividad exige al inversionista ejecutar obras de mitigación y desarrollo en el área de influencia del proyecto, las cuales son pactadas con las comunidades a través de mecanismos de participación (consultas previas). Adicionalmente contribuye a la implementación de la energía sostenible, dado que aporta en la tasa de empleo de las regiones, la mano de obra no calificada para la ejecución de proyecto, al igual que para la administración y mantenimiento, debe ser contratada con personal de la región, lo que genera puestos de trabajo a largo plazo.

Gracias a la implementación de nuevas tendencias basadas en los avances tecnológicos, el desarrollo de proyectos con FNCER y la estructuración de políticas, en los últimos años, se ha cambiado el paradigma con el cual se venían desarrollando los sistemas eléctricos, de esta manera se ha asegurado la calidad del servicio, la confiabilidad, y la efectividad, enfocando todos los esfuerzos hacia la reducción del impacto ambiental, la optimización y diversificación de los recursos energéticos, y ser más sostenibles. Muestra de ello y a pesar de que Colombia no es un país que tiende hacia el desarrollo de la tecnología, de acuerdo a la UPME, en los últimos 30 años se ha empezado a desarrollar la explotación de energía solar fotovoltaica y térmica y se tienen algunos proyectos de biomasas y eólicos (González, T.; Velencia, J., 2015). Estos proyectos permiten la diversificación de la matriz energética, mejoran la calidad de vida de la población, reducen la contaminación, garantizan la prestación de servicio en las ZNI, con una muy buena disponibilidad del servicio, aportan al equilibrio macroeconómico y el desarrollo del país.

5 REFERENTE TEÓRICO

La energía, evidentemente, es el pilar del desarrollo de los procesos productivos, del progreso social de los países y elemento fundamental del avance tecnológico mundial (Castillo, Castrillón Gutiérrez, Vanegas-Chamorro, Valencia, & Villicaña, 2015). Es así como los proyectos de generación en el sistema eléctrico colombiano, impulsan el desarrollo sostenible y socioeconómico del país, puesto que se encuentran presentes en toda la cadena productiva y uso de los bienes y servicios, lo que beneficia a la población que carece de estos servicios, como son las ZNI.

5.1 MERCADO ENERGÉTICO

El mercado energético colombiano se divide, en función de la demanda, en dos grandes regiones: Sistema Interconectado Nacional (SIN), donde se realiza el grueso de proyectos energéticos a gran escala, y Zonas No Interconectadas (ZNI), que admiten proyectos de menor tamaño; de igual manera obedece a una oferta de energía compuesta por recursos de diferentes tipos, principalmente, hidráulicos y térmicos, a gas, a carbón y a base de combustibles líquidos (el abastecimiento de energía en las ZNI en su mayoría es a base de este tipo), y en muy poca proporción a solares y eólicos; de los cuales se mencionan a continuación.

Las fuentes no convencionales de energía renovables (FNCER) son aquellas que se obtienen de fuentes naturales que en teoría podríamos llamar inagotables, teniendo de esta manera la energía solar (fotovoltaica y térmica), energía eólica, energía hidráulica, energía mareomotriz, energía undimotriz, energía geotérmica, energía biomasa. Las tecnologías de la energía renovables son aquellas que transforman los flujos de energía que se presentan en la naturaleza (CONSORCIO ENERGÉTICO CORPOEMA, 2010); es decir, la energía que se obtiene de los recursos renovables, se transforma en energía útil como la energía eléctrica limpia, permitiendo llegar a las zonas más apartadas del país, sin generar emisiones de gases efecto invernadero.

5.2 TECNOLOGÍAS DE ENERGÍA RENOVABLES

Energía Hidráulica

“Es la energía que desarrolla el agua cuando está en movimiento” (Viloria, 2013), es la forma de energía renovable más utilizada en el mundo. Aunque las ZNI están ubicadas en zonas con una gran riqueza de recursos naturales, catalogados como territorio de reserva natural; son muy pocas las zonas que cuentan con generación de energía a base de este tipo de fuente, dado que las centrales hidroeléctricas producen mayores problemas ambientales (desvío del cauce de los ríos, afectación de la vida silvestre, desplazamiento de las comunidades).

Energía Térmica

“La energía térmica es parte de la energía interna que cambia cuando se modifica la temperatura del sistema”. (Serway & Faughn, 2001).

Energía Eólica

“La energía eólica está constituida por un conjunto de equipos necesarios para transformar la energía del viento en energía Útil, disponible para ser utilizada”. (Talayero Navales & Telmo Martinez, 2008).

Colombia cuenta con un alto potencial y viabilidad para satisfacer la demanda de energía a nivel nacional, desarrollando proyectos con este tipo de energía en el departamento de la Guajira el cual cuenta con un alto potencial, el atlas de Energía Eólica de Colombia, resalta como los vientos desde los Andes hasta la alta Guajira, permite que la subregión sea óptima para la generación de energía eléctrica, considerando un estimado de 21 GW, “La velocidad del viento alcanza rangos entre 5 m/s y 11 m/s durante el año, el mínimo permitido es de 5 m/s. Para el 2020 se tiene previsto la entrada de generación de energía eólica a mayor escala”. (Rodríguez, 2019).

Colombia tiene un reto muy importante en consolidar un sistema energético, que disminuya la incidencia negativa del aprovechamiento de los recursos energéticos en el ambiente, frente a los impactos en el agua, suelo, biodiversidad y sus servicios, aire y calentamiento global. El desarrollo de proyectos con este tipo de energías reduce la necesidad de

generación de energía de alto costo (operación y mantenimiento) como son las plantas térmicas y generan un beneficio ambiental medido en términos de ahorros en emisiones de efecto invernadero.

Energía Biomasa

El término biomasa, en el sentido amplio, se refiere a cualquier tipo de materia orgánica que haya tenido su origen inmediato y un proceso biológico, el concepto de biomasa comprende a productos tanto de origen vegetal como animal” (De Juana, y otros, 2008). Este tipo de energía tiene gran potencial en el departamento de Santander, Valle, llanuras orientales y la costa atlántica, permitiendo que las cascaras de bagazo, arroz y la caña, generen millones de toneladas.

Energía a Base de Residuos Sólidos Urbanos (RSU)

La energía a base de residuos, incluidos los residuos sólidos municipales y los residuos derivados de combustible, es una valiosa fuente de energía renovable. Las plantas de energía a base de residuos convierten los residuos sólidos en electricidad o calor para procesamiento industrial y para sistema de calefacción urbana. (Kumar & Samadder, 2017)

Energía Solar

La energía solar es la energía transportada por las ondas electromagnéticas que proviene del sol. La emisión de energía desde la superficie del sol se denomina radiación solar; y a la energía emitida, energía radiante. La energía radiante que incide sobre la superficie terrestre por unidad de área (irradiación o insolación), se mide en kWh/m²; y la potencia radiante que incide sobre la superficie terrestre por unidad de área (irradiancia), se mide en kW/m².

Existen diferentes formas de aprovechamiento de la energía solar:

Energía solar pasiva: es el método más antiguo de aprovechamiento de la radiación solar. Se trata del método que ya utilizaban las culturas antiguas tal y como se explica en historia de la energía solar. Este sistema consiste en aprovechar la radiación solar sin la utilización de ningún dispositivo o aparato intermedio, mediante la adecuada ubicación, diseño y orientación de los edificios, empleando correctamente las propiedades de los materiales y los elementos arquitectónicos de los mismos: aislamientos, tipo de cubiertas, protecciones,

etc. Aplicando criterios de arquitectura bioclimática se puede reducir significativamente la necesidad de climatizar los edificios y de iluminarlos.

Energía Solar Térmica: aprovechamiento del calor solar para calentar un fluido (típicamente agua y aire). La energía solar en forma de calor es absorbida por un panel solar térmico o colector, y transferida al fluido para elevar su temperatura. Los usos más comunes son para calentar agua, climatización y calefacción; también es posible generar energía eléctrica a través evaporación del fluido mediante su calentamiento y haciendo que este mueva una turbina.

Energía Solar Fotovoltaica: es el aprovechamiento de la radiación solar para la generación de energía eléctrica.

Sistemas fotovoltaicos (SFV): La energía fotovoltaica es el resultante de la conversión directa de la luz solar en electricidad, mediante paneles solares, fácil de almacenar en baterías, o entregando directamente al sistema, convirtiéndose en una energía renovable. Entre sus ventajas cabe resaltar el carácter no contaminante, así como también su idoneidad para la aplicación en las ZNI debido a que la radiación media, en Colombia es de 4.5 kWh/m² (el área con mejor recurso solar es la Guajira, con 6 kWh/m² de radiación, seguida de San Andrés y Providencia y Magdalena) (IPSE, 2017), superando el promedio mundial.

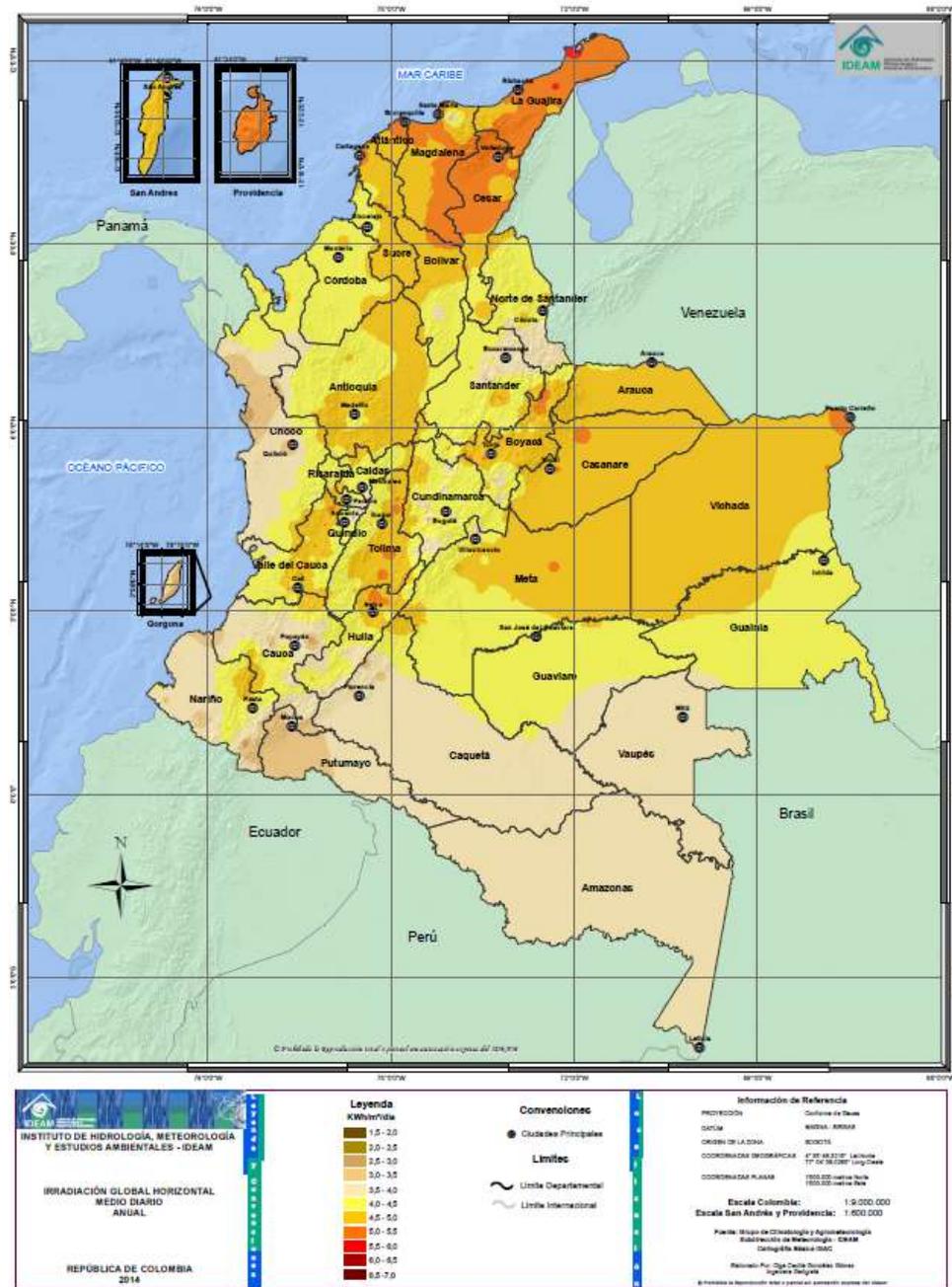
Desde el siglo XIX con la construcción de los primeros paneles solares y hasta la actualidad, se han presentado grandes cambios, como el diseño, los elementos empleados para su fabricación y la manera como se realiza el almacenamiento de la energía, todo lo anterior se ha dado gracias a los avances continuos en la tecnología y a la búsqueda constante de encontrar maneras de generar energía limpia, que sea suficiente para cubrir la demanda de la población a nivel mundial y a costos muy eficientes y accesibles. Para el año 2040 se proyectan reducciones de estos costos del orden del 60 %, esto debido al desarrollo tecnológico que ha traído la curva de aprendizaje de esta tecnología, lo que permite la implementación de economías de escala (Hunt, 2014).

A finales de 2017 a nivel mundial había una capacidad instalada de energías renovables de 2179,43 GW (IRENA, 2019), de la cual, la mitad proviene de fuentes hídricas con un 55,34%, seguido de la energía eólica con un 22,363%, solar con un 16,868%, biomasa con 4,851%, geotérmica con 0,552% y en menor proporción la marina con 0,023%.

La capacidad instalada de energía solar FV a finales de 2017 alcanzó los 384,62 GW, más del 30 % del 2016, lo que representa en energía generada 317,67 GWh (IRENA, 2019). En cuanto al potencial de crecimiento de esta tecnología, proyecciones como las de Bloomberg New Energy Finance (Bullard, 2018) señalan que para el año 2040 el 60 % de la capacidad mundial de energía provendrá de FNCER, de las cuales las tecnologías eólica y solar se convertirán en las formas más económicas de producir electricidad en muchos países durante la década de 2020 y en la mayor parte del mundo en la década de 2030.

Colombia se ha posicionado entre los diez (10) países con mayor potencial para generación de energía a partir de fuentes no convencionales de energías renovables (FNCER). Según el *World Economic Fórum*, Colombia ocupa la posición número ocho (8), tan solo un puesto por detrás de España. Características como la ubicación geográfica sobre la línea ecuatorial, permite tener una radiación solar hasta 12 horas día, sus diferentes pisos térmicos, convierten a Colombia en una potencia en generación con FNCER, soportado en una diversidad de recursos naturales y en su capacidad de aprovechar los vientos y el sol; se puede observar en la figura 1, que Colombia cuenta con regiones que tienen mayor o menor incidencia de irradiación, permitiendo la generación con este tipo de energía.

Figura 1. Radiación Global Horizontal Medio Diario Anual (Colombia).



Fuente: IDEAM 2014, <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>

Se puede decir que, de los tipos de recursos renovables descritos, el eólico y en menor medida el solar, presentan un elevado nivel de aleatoriedad e impredecibilidad en su producción. El principal papel que juegan estos dos tipos de energía renovable es la

disminución del consumo de combustibles fósiles, las emisiones de CO₂ y la posibilidad de llevar energía a las zonas más vulnerables y apartadas del país, pero al tener una producción intermitente no aportan seguridad de suministro al Sistema Eléctrico en un instante concreto, por lo que no es factible gestionar la demanda de energía solo con FNCER, por lo que debe ser aportada por otras tecnologías, a pesar de contar con financiación del Estado.

Según el DNP (Enersinc, Korea , & Wordl , 2017) el consumo de energía para el país se puede medir a partir del balance energético y la intensidad energética (IE), indicadores representativos desde el punto de vista económico, por que relacionan las fuentes de energía, su generación y transformación con el Producto Interno Bruto (PIB). Además la IE permite sentar las bases para la planeación de estrategias de ahorro en el consumo de las fuentes energéticas del país, este estudio realizado en el 2017 por el DNP con apoyo del Banco Mundial y multinacionales del sector privado, relacionadas con el sector de generación de energía limpia, permitió evidenciar tendencias sobre la generación de energía en el país.

Perspectivas de desarrollos de fuentes de energías

En Colombia, el gobierno nacional tiene una preocupación frente a la perspectiva de desarrollo de fuentes tradicionales de energía, pues, si bien le brindan bienestar a la población, su exploración y explotación resultan muy onerosas. No obstante, dejan importantes rendimientos para el país que las exporta y las produce. Sin embargo, a un país de poca industrialización como Colombia se le genera una gran dependencia de los recursos financieros que producen los hidrocarburos y los recursos agrícolas, adicional que el consumo y la demanda continúan aumentando, mientras, en una relación inversa, el recurso se sigue agotando por su naturaleza no renovable. En consecuencia, la seguridad energética y las fuentes de energía renovables cobran un papel protagónico para la economía colombiana (Ortiz, A. C, García, C. L. E., Parra, A. P., 2019). Debemos entrar en un proceso de descarbonización económica para poder subsistir y mantener una economía sostenible y que se comprenda que lo que viene no solo son las energías renovables, sino también nuevos panoramas de inversión.

La productividad y el desarrollo del país, tiene alta dependencia de la generación de energía eléctrica, puesto que el aumento en la producción hace que el consumo de energía se incremente sustancialmente. La demanda de electricidad ha venido creciendo en tasas que oscilan entre 1,5% y el 4,1% anual, de acuerdo con el plan de expansión de generación 2015- 2019, publicado por la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME, 2015), se encontró que se requieren entre 4.208 y 6.675 megavatios de expansión para la próxima década.

Las proyecciones de la demanda de la energía eléctrica señalan que la tasa de crecimiento en el horizonte de proyección evolucionará a un ritmo inferior que el PIB, lo cual sugiere procesos de sustitución y de mayor eficiencia, acentuados desde 1997. El sector minero-energético representa un papel importante en el PIB (Producto Interno Bruto de Colombia), en las cuentas fiscales y en las exportaciones; durante la presente crisis financiera mundial ha sido uno de los sectores que más ha contribuido a evitar una severa contracción del nivel de la actividad interna (UPME, 2017).

La oferta de energía primaria en Colombia está compuesta predominantemente por combustibles fósiles (carbón y petróleo), con una participación cercana al 77% del total mientras que la hidroelectricidad, el gas natural y las fuentes no convencionales de energía renovable (bagazo, biocombustibles y leña) suman el restante 23%. Al observar la evolución histórica de la oferta y la demanda de energía de Colombia durante las últimas cuatro décadas, se evidencian fuertes cambios tanto en los usos finales de la energía como en la composición de la matriz energética de la economía. Así, en los 43 años comprendidos entre 1975 y 2018, el consumo final de energía se incrementó un 78%, este crecimiento se explica principalmente por el aumento del consumo en la industria manufacturera y en el sector transporte, que presentaron tasas promedio anuales de crecimiento del 2,4% y 5,9% respectivamente. El incremento en estos sectores contrasta con la disminución de consumo de energía del sector residencial, que era el más intensivo en 1975 con un 46% de participación en la demanda de energía, debido principalmente a la sustitución del consumo de leña por la penetración del gas combustible (UPME, 2019).

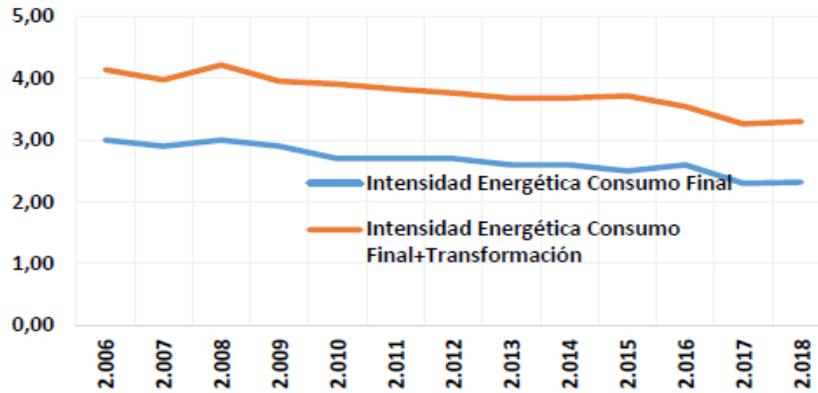
El país ha realizado un esfuerzo para armonizar el desarrollo y el crecimiento de la economía con la protección de los recursos naturales, sin embargo, los sectores aún son intensivos en el uso de los recursos y han generado impactos en el capital natural, que inciden tanto en su oferta como en su calidad (DNP; Fedesarrollo; GGGI; PNUMA, 2017). Por lo tanto, el Gobierno Nacional estableció una Política de Crecimiento Verde (Departamento Nacional de Planeación, 2018), con el fin de mantener e incrementar el ritmo de crecimiento económico que necesita el país, y así atender las problemáticas sociales, en materia de pobreza, desigualdad y construcción de paz, buscando nuevas fuentes de crecimiento que sean sostenibles a partir de la oferta de capital natural para la producción de bienes y servicios ambientales, representada en más de 62.829 especies registradas, 24,8 millones de hectáreas con aptitud forestal y un potencial eólico de 29.500 Megavatios (UPME, 2015).

Esta política tiene como propósito en un periodo de implementación de 13 años (2018 – 2030) impulsar el aumento de la productividad, estableciendo una trayectoria de crecimiento que avale en el largo plazo el desarrollo económico y competitivo del país, asegurando el uso sostenible y la conversión del capital natural, la inclusión y el bienestar social, de una manera compatible con el medio ambiente.

La implementación de políticas como los Programas de Uso Racional de Energía – PROURE, ha permitido cumplir como se puede observar en la figura 2, con la disminución en el indicador de intensidad energética del país, que obtuvo para el 2018 un valor de 3,3 TJ/miles de millones de COP. Incluye, el consumo final más transformación y los compromisos adquiridos por el país con los ODS.

En el PND para el 2030, el Gobierno Nacional plantea una reducción del indicador de 2,9 TJ/miles de millones de COP, este indicador, evalúa la relación entre “el consumo de energía y el desarrollo económico de un país” (OLADE, 2019).

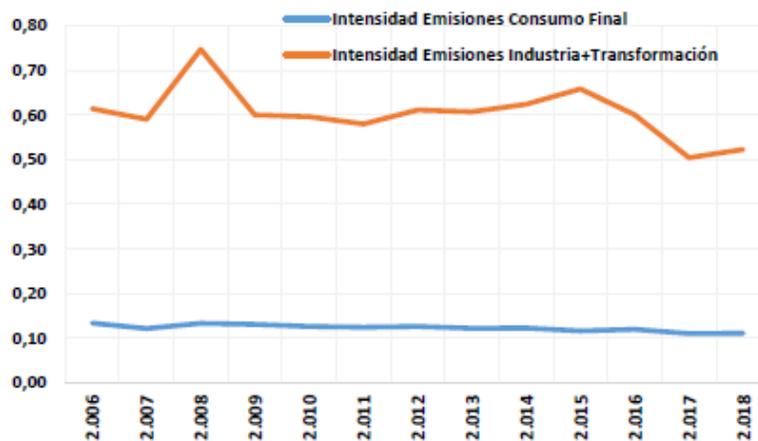
Figura 2. Intensidad Energética en Consumo Final (TJ/MILES DE MILLONES DE COP – BASE 2005)



Fuente: UPME

La industria colombiana ha venido ajustando procesos (manufacturero y transformación) para lograr un menor valor de emisiones de CO₂, con el fin de cumplir con la meta de los ODS a 2030 de 0,79, con relación al indicador de intensidad de emisiones, este indicador se calcula como la razón entre las emisiones asociadas al consumo de energía (Gg CO₂) y PIB (miles de millones de COP), obteniendo para el 2018 un nivel de 0,52 como se puede observar en la figura 3.

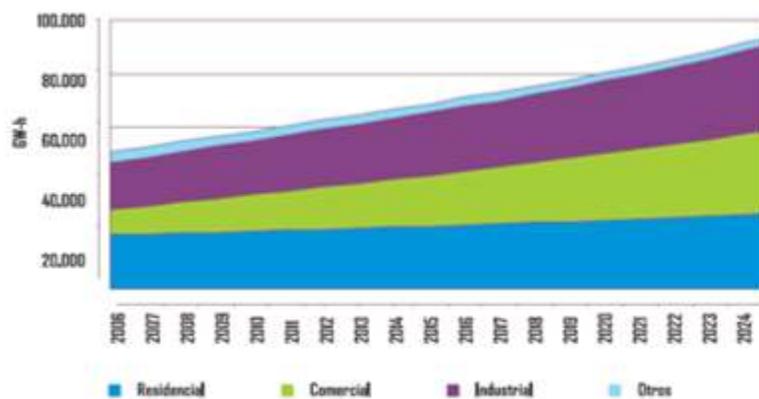
Figura 3. Intensidad Energética en Consumo Final (TJ/MILES DE MILLONES DE COP – BASE 2005)



Fuente: UPME

En la figura 4, se aprecia un crecimiento importante del sector comercial e industrial, ganando aproximadamente 15 puntos porcentuales en la participación relativa de la demanda eléctrica. (UPME, 2015). Con el fin de suplir la demanda de energía, y minimizar el riesgo latente que se tiene a los cambios climático y después del fenómeno presentado a principios de los noventa, cuando la escasez de agua generó un racionamiento de energía en el país, el Gobierno Nacional dentro de sus proyecciones y planes de Gobierno ha enfocado todos sus esfuerzos, para diversificar y hacer más resiliente la matriz energética, impulsar las energías limpias, formular escenarios que incorporen el uso de FNCER, y aprovechar la diversidad y abundancia de recursos de energías renovables; por lo que se requiere fomentar la inversión en proyectos con este tipo de fuentes.

Figura 4 Estructura de Participación Sectorial en el Consumo de Electricidad



Fuente: UPME

5.3 FINANCIAMIENTO DE PROYECTOS CON FNCER

El Gobierno colombiano con el fin de que los inversionistas puedan acceder al financiamiento en condiciones competitivas y de mercado en el sistema financiero, a través de la Financiera de Desarrollo Nacional S.A (FDN), se encarga de coordinar los actores institucionales y agentes de mercado, para ayudar a impulsar el desarrollo del sector energético limpia y eficiencia energética; para ello, la FDN ofrece a los inversionistas 3 productos financieros que a su vez cuentan con el respaldo de las garantías de la banca

multilateral, lo que permite mejorar el perfil de riesgo (reciben ponderación de riesgo mucho menor) crediticio de los proyectos con FNCER y cumplir la meta contemplada en PND 2018-2022, de pasar de una capacidad instalada de 22,2 MW de FNCER a 1.500 MW en el 2022. Lo que puede traer un impacto de reducción de las tarifas aproximadamente el 5% - 7,5%, lo cual significaría un ahorro para los consumidores finales de energía limpia (Banco Mundial, 2018).

De igual manera y con el fin de fomentar el uso más eficiente de la energía en el sector empresarial, Bancóldex, en alianza con el BID, diseñaron el programa Seguro de Ahorros de Energía, ESI (por sus siglas en inglés). Este programa, incorpora múltiples herramientas que promueven las inversiones en eficiencia energética en Colombia en las PYMES.

ESI se basa en una serie de instrumentos de mitigación del riesgo, que permiten al inversionista confiar en que los ahorros de energía asociados a un proyecto y prometidos por un proveedor de tecnología se van a efectuar. Esto, gracias a un seguro que cubre los ahorros de energía proyectados, a un contrato estándar entre la empresa que hará la inversión y el proveedor, y a unos protocolos estandarizados y verificables para estimar los ahorros. Sus mecanismos de reparto de riesgos compensan a las empresas en caso de que no se realicen los ahorros en el consumo de energía, asociados al proyecto de Eficiencia Energética implementado. (Bancoldex, 2019). Teniendo de esta manera una opción adicional para financiar los proyectos con FNCER.

Por otra parte, Colombia cuenta con medios de financiación para proyectos de FNCER, mediante los programas y organizaciones como: el Sistema General de Regalías SGR, el Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas Rurales Interconectadas FAER, el Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas No Interconectadas FAZNI, entre otros que posiblemente reglamente el Ministerio de Minas y Energía - MME (UPME, 2015). Sin embargo, estos apoyos no son comunicados de forma clara y no se encuentran claramente definidos los beneficios según la financiación, presentando muchas barreras para poder acceder a cualquiera de ellos de forma total o parcial, por lo que es importante mejorar en este aspecto, teniendo en cuenta los diversos medios de financiación con los que cuenta Colombia, el desarrollo de tecnologías en

FNCER, lo que puede llegar a ser tres veces más competitiva la generación de energía con este tipo de fuentes renovables que otras fuentes en las ZNI.

Análisis factibilidad de proyectos con FNCER

Cuando hablamos de energía, se debe tener en cuenta que es un servicio el cual debe ser continuo y confiable, para lo cual a nivel mundial se han implementado una serie de indicadores que permiten medir la factibilidad de los sistemas solares fotovoltaicos e híbridos (es aquel en el que diferentes fuentes de energía eléctrica alimenta una misma red), entre los más comunes se encuentran los indicadores económicos, ambientales, de confiabilidad y sociales, permitiendo de esta manera realizar un análisis concienzudo para la implementación de este tipo de energía.

5.3.1 Indicadores Económicos

Este tipo de indicadores son utilizados para analizar la viabilidad económica de este tipo de proyectos; encontrando de esta manera indicadores como: costo de inversión, costo de mantenimiento y operación, flujo de caja, valor presente neto y vida útil, con base en la cantidad de energía producida (Khan, Pal, & Saeed, 2018).

Los métodos más empleados para el análisis de costo son (Khan, Pal, & Saeed, 2018):

- Costos del sistema total (NPC): incluye el costo de la tecnología solar, el sistema de almacenamiento y equipo de soporte, comprende: Costo de capital, costo de operación, mantenimiento, instalación, reemplazo y el interés sobre el tiempo de vida del proyecto.

Con el fin de realizar el análisis de este tipo de costos, se tiene en cuenta la vida útil de los proyectos por tecnología: Solar y eólica: 25 años, biomasa: 20 años. Dentro de estos costos se encuentran los costos de funcionamiento del proyecto, costos de combustible para los casos específicos de los proyectos que tienen generación híbrida a base de combustibles fósiles, costos de mantenimiento, costos de manejo ambiental y seguros (UPME, 2015).

- Costos totales anualizado del sistema (ACS): comprende los costos de inversión anualizados, el costo de reemplazo anualizado y el costo de mantenimiento anualizado.

Dentro de los costos de inversión se distinguen cuatro (4) componentes que corresponden a costos de infraestructura y facilidades asociadas al proyecto, el costo de los equipos de generación eléctrica, el costo de interconexión a la red de transmisión (se considera la construcción de subestaciones y líneas de interconexión) y los costos de desarrollo del proyecto (estudios, planes de manejo ambiental, trámite de licencias, inversión social).

- Costo de energía (COE): definido como la relación del costo agregado total anualizado del sistema y la energía entregada por el sistema. Los gastos anualizados incorporan todos los gastos a lo largo de la vida útil del sistema desde el inicio de los gastos de capital de riesgo, incluido el apoyo a la operación y el costo de financiamiento; lo que representa un costo por unidad de energía producido en un período específico de tiempo.
- Valor presente neto (VPN): técnica empleada para la evaluación del desempeño económico del proyecto.
- Costo del ciclo de vida (LCC): Es el costo agregado de costos repetitivos y los costos únicos para la duración del tiempo de vida de un buen marco, incluido el costo de la fundación, los costos de funcionamiento, el costo de soporte y mejora.
- Costo unitario del ciclo de vida (LCUC): Es el costo unitario de energía obtenido por el costo del ciclo de vida con una cantidad total de energía producida del sistema durante su vida útil.

- Costo nivelado de energía (LCOE / LCE / LEC): LCE es la tasa de producción total de energía del sistema de generación para instalar y operar de por vida con respecto al costo total promedio del sistema durante la vida útil. LCE también puede considerarse como el costo mínimo requerido para vender electricidad a un precio de equilibrio durante la vida útil de la planta

De los diferentes análisis que se han hecho, se puede concluir que los proyectos de FV solar a gran escala no serían considerados como rentables salvo en casos en los que estos fuesen diseñados como soluciones aisladas en ZNI, o conforme se evidenciaron reducciones representativas en los costos de los sistemas.

5.3.2 Indicadores Ambientales

La producción y uso de energía solar repercute de manera positiva y negativa en el ambiente. La primera se hace evidente porque este energético produce hasta 18.8% menos emisiones de CO₂ (Hernandez, y otros, 2014), siendo este el indicador más empleado para medir el impacto ambiental del sistema (Guzmán Acuña, Vasquez Padilla, & Santander Mercado, 2017)., favoreciendo el proceso incluyente de energía para poblaciones como las ZNI o rurales y se hace parte de la oferta energética de las comunidades con posibilidad de oportunidades laborales para proveedores de celdas y paneles y para los responsables del funcionamiento de la planta de generación de energía, que incluso puede estar ubicada en terrenos degradados pero que se recuperan con la construcción de una central solar.

Todas estas justificaciones positivas hacen que este energético sea un medio para la mejora en la calidad de vida de los países en desarrollo (Burney, Woltering, Burke, & Naylor, 2010); (Tsoutsos, T.; Frantzeskaki, N.; Gekas, V., 2005). Con respecto al aspecto negativo en el ambiente, por la producción y uso energía solar, se asocian más a la fase de conservación y desmantelamiento de la planta, por la permanencia que puedan tener en el paisaje las adecuaciones realizadas durante la operación de una central solar, cuya vida útil puede ser de 25 a 40 años (UPME, 2015). Dado que la energía solar es una fuente

inagotable y se encuentra en todo el mundo sin dependencias externas de ningún tipo (Junta de Castilla y León, 2004).

5.3.3 Indicadores De Confiabilidad

Son los indicadores empleados para medir la habilidad del sistema de responder a la demanda de electricidad de manera continua y eficiente. Debido al comportamiento aleatorio del sol, es necesario analizar la confiabilidad de estos sistemas.

En particular para los sistemas solares fotovoltaicos entre los indicadores más comunes se encuentran (Khan, Pal, & Saeed, 2018):

- Disponibilidad de Potencia: disponibilidad que tiene el sistema para suplir la carga demandada durante un periodo de tiempo determinado.
- Pérdida de los índices de confiabilidad de probabilidad de suministro de energía: Esta técnica se utiliza ampliamente cuando se considera la probabilidad de un suministro de energía inadecuado para cargar la demanda para la planificación y el diseño del sistema híbrido. La probabilidad de pérdida de suministro de energía (LPSP) es la proporción de la escasez de suministro de energía con una demanda de carga de duración especificada.
- Carga no satisfecha (UL): Esta es la proporción de carga que no se cumple y el tiempo de carga total (en general, un año).
- Probabilidad de pérdida de carga (LOLP/LLP): es el porcentaje del tiempo durante un periodo en el que la demanda es menor que la carga generada por el sistema.
- Deficiencia de la probabilidad de suministro de energía (DPSP): es la probable condición de falta de suministro de energía en comparación con la demanda de carga. También es un criterio especializado para la evaluación y dimensionamiento de un sistema solar fotovoltaico y eólico híbrido para la generación de energía. Matemáticamente se representa como la razón de la deficiencia del suministro de energía y la demanda de carga acumulada anualmente.

- Pérdida de horas de carga (LOLH): Es la suma de la pérdida de carga esperada por hora durante un año específico, que no puede satisfacer la demanda de carga debido a la falta de generación de energía en el momento de interés.
- Nivel de rendimiento del sistema (SPL): La expectativa probable de demanda de carga insatisfecha en general considerada como nivel de rendimiento del sistema. Se caracteriza por la cantidad de días que no se puede cumplir con la carga esperada.
- Pérdida de riesgo de carga (LOLR): probabilidad de no satisfacer la demanda diaria de energía eléctrica debido a la deficiencia en la generación de energía por fuentes renovables.
- Pérdida de energía esperada (LOEE): significa el valor predicho de la energía que no ha sido suministrada. Ocurre cuando la capacidad de generación eléctrica disponible no puede satisfacer la demanda de carga por hora.
- Pérdida de carga esperada: Es la expectativa de energía que no se suministra a la carga teniendo en cuenta que la demanda de carga es mayor que la generación
- Energía esperada no suministrada: mide la energía esperada que no es suministrada, debido a la falta de capacidad en el sistema de energía.
- Factor de Servicio: porcentaje de horas reales del servicio con relación a las horas programadas en un periodo de tiempo determinado.

5.3.4 Indicadores Sociales

La UPME (UPME, 2005) determina que la tecnología que forja mayor valor económico de los empleos que puede generarse, aplicando el salario mínimo de Colombia y dividiendo la producción de energía según cada tecnología, es la tecnología fotovoltaica, la cual generan 7 empleos, seguida por la tecnología eólica con 3 empleos aproximadamente; lo que impacta y mejora la calidad de vida de las comunidades; aporta al desarrollo de las regiones, e impulsa oportunidades de diversificación de la economía a partir de los recursos energéticos, en procura de una sociedad dinámica e incluyente.

Para este análisis es importante tener en cuenta indicadores de Costo Beneficio (ACB), herramienta analítica que ha sido empleada para el análisis de proyectos de integración de energías renovables porque permite evaluar la rentabilidad financiera, pero no solo se limita a los costos sino que considera los beneficios sociales. Las diferencias entre el ACB privado o financiero y el ACB social según FEDESARROLLO se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 1. Análisis costo beneficio social y financiero

<i>ELEMENTO</i>	ACB SOCIAL	ACB PRIVADO
<i>Punto de vista</i>	Toda la sociedad	Inversionista
<i>Criterio de decisión de desarrollo del proyecto</i>	Valor Presente Neto (VPN) positivo	Corto Plazo
<i>Horizonte Temporal</i>	Vida técnica del proyecto	Refleja los costos de préstamo retornos deseados (normalmente mayor a la tasa de descuento económica)
<i>Tasa de descuento</i>	Refleja preferencias sociales y otros factores	Precios de mercado
<i>Precios de la energía (beneficios)</i>	Valores sociales que reflejan la disponibilidad a pagar; usos alternativos	Privados, precios de mercado
<i>Costos</i>	Valores sociales que reflejan oportunidades no realizadas (Costos de oportunidad)	Privados, precios de mercado
<i>Impuestos y subsidios</i>	Ignorados	Considerados

<i>Infraestructura social (ej. Vías)</i>	Considerado	Ignorado
<i>Impactos externos</i>	Considerados	Ignorados

Fuente: (FEDESARROLLO, 2013)

6 REFERENTE LEGAL

Las leyes que rigen la actividad de generación eléctrica en Colombia son la Ley de Servicios Públicos (Ley 142 de 1994) y la Ley Eléctrica (Ley 143 de 1994). También son importantes la Ley de Cogeneración, como son la 689 de 2001 y la 1215 de 2008.

El marco regulatorio para la adopción de energías renovables parte de la aprobación del Protocolo de Kioto (Congreso de Colombia, LEY 629, 2000); y el Uso Racional y Eficiente de la Energía (URE) mediante el Decreto 3683 de 2003. De acuerdo con el artículo 9 de la Ley 697 de 2001, el Ministerio de Minas y Energía formula los lineamientos de las políticas, estrategias e instrumentos para el fomento y la promoción de las fuentes no convencionales de energía, con prelación en las ZNI. Posteriormente, la Ley 1665 de 2013 promueve la implementación del uso de energías de fuente no convencionales. La Ley 1715 de 2014, regula la integración de las FNCE, principalmente aquellas de carácter renovable; en particular, esta ley busca la inclusión de plantas eólicas, generación solar fotovoltaica, geotermia y generación a partir de la biomasa tanto en el SIN como en las ZNI, con el fin de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, asegurar el abastecimiento energético, ampliar la cobertura y definir incentivos como son la exención del IVA y la reducción en el pago de impuesto sobre la renta.

La Ley 1715 establece además el marco legal y los instrumentos para el aprovechamiento de las FNCER, el fomento a las inversiones en tecnologías innovadoras para la generación energética, la promoción de la autogeneración de pequeña y gran escala y la generación distribuida de energía, la integración de las FNCER en el mercado eléctrico nacional, la promoción de la gestión eficiente de la energía y la generación de beneficios fiscales e instrumentos financieros como el Fondo de Energías Renovables No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía (FENOGE).

Adicionalmente la Ley 1715 aborda la necesidad de crear mecanismos que permitan la respuesta de la demanda y se establecen lineamientos de eficiencia energética para edificios públicos. El Ministerio de Minas y Energía adoptó mediante Resolución 41286 de 2016, el Plan de acción indicativo 2017 - 2022 para desarrollar el Programa de Uso Racional y

Eficiente de Energía (PROURE), que incluye metas de eficiencia energética y acciones relevantes en los sectores transporte e industria.

En el año 2016, se aprobó la Política Nacional de Cambio Climático con el objetivo de incorporar la gestión del cambio climático en las decisiones públicas y privadas para avanzar en una senda de desarrollo resiliente al clima y bajo en carbono que reduzca los riesgos asociados. Es una política innovadora en la medida que identifica oportunidades y beneficios de una gestión articulada entre la economía y el cambio climático a partir de cinco ejes estratégicos: (i) desarrollo rural; (ii) desarrollo urbano; (iii) sector minero-energético; (iv) infraestructura estratégica; y (v) manejo y conservación de ecosistemas y sus servicios. En ese sentido, los esfuerzos por desarrollar tecnologías y procesos productivos bajos en carbono y resilientes al clima aportan a la visión de crecimiento verde (Departamento Nacional de Planeación, 2018).

A pesar de que en Colombia se ha avanzado mucho sobre el tema y el principal objetivo de tener una política clara sobre las FNCE es la disminución de las fuentes de energía con biocombustibles sobre todo en las ZNI; si se toma de referencia los países en desarrollo, la fijación de políticas y metas en materia de FNCE, están directamente relacionadas a las metas de reducción de emisiones y de las dependencias del suministro externo

En cuanto a las Zonas Interconectadas, encontramos la ley 633 de 2000, reglamentada por el decreto 1124 de 2008, modificado por el decreto 4813 de 2008, la ley 1099 de 2006. Dicha normatividad resalta que los recursos FAZNI, y los rendimientos que generen la inversión temporal de sus recursos, se utilizarán de acuerdo con la ley y con las políticas de energización que para las ZNI, para financiar planes, programas y/o proyectos priorizados de inversión para la construcción e instalación de la nueva infraestructura eléctrica y para la reposición o la rehabilitación de la existente, con el propósito de ampliar la cobertura y procurar la satisfacción de la demanda de energía en las ZNI. De igual forma, la ley 812 de 2003 señaló expresamente, que los subsidios destinados a las ZNI podrán ser utilizados tanto para inversión como para cubrir los costos del combustible requerido por las plantas de generación eléctrica en estas zonas (Pereira Blanco, 2015).

7 REFERENTE CONTEXTUAL

Colombia está dividida energéticamente en dos zonas: ZNI y las ZI o más conocido como el sistema interconectado nacional; las ZNI son los municipios, corregimientos, localidades y caseríos no conectados al SIN (Congreso de Colombia, Ley 855, 2003), caracterizados por la gran distancia hasta los principales centros urbanos, cuentan con una diversidad de climas. Regiones como Pacífico, Orinoquía y Amazonía colombiana, se caracterizan por su selva espesa, lo que hace muy difícil o imposible el acceso, sin contar con la problemática de orden público que reina en esas zonas, lo que dificulta e impide la instalación de infraestructura eléctrica, por lo que la prestación de servicio de energía debe generarse en cada una de las zonas, a base de combustibles fósiles, requiriendo la compra de combustible, dado que por la topología de la zona no existen poliductos o gasoductos que les permita transportar el combustible de forma segura y ágil, y a menores costos, lo que hace que la energía en estas zonas tenga un valor muy elevado.

Teniendo en cuenta lo anterior, se requiere de los subsidios del Gobierno Nacional para poder garantizar la prestación de servicio en estas zonas y a pesar de ello se presenta una intermitencia equivalente a la mitad del horario del suministro corriente, en menor proporción se encuentra la generación con hidroeléctricas o soluciones solares individuales; no obstante gracias a la gran variedad de recursos naturales que se tiene en dichas zonas, se tiene una gran variedad de oportunidades de proponer alternativas energéticas (Flórez , Tobón, & Castillo, 2009), sin embargo en varias zonas se hace imposible aprovechar de manera eficiente el potencial hidroeléctrico debido a los altos costos relativos y la dificultad de construir centrales hidroeléctricas para poblaciones de escala menor, pues las poblaciones se encuentran sumamente dispersas y por tanto los costos por kW producido son mucho mayores que en el resto del país e incluso mucho mayor al promedio mundial (CREG, 2013).

El SIN es el sistema interconectado, en donde se encuentran la generación, transmisión, distribución y comercialización; permitiendo de esta manera contar con servicio constante en el 49% del territorio colombiano, en donde se encuentran las principales ciudades del país, como Bogotá, Medellín, Barranquilla, Cali, Manizales, Pereira, entre otras.

Las ZNI son el 51% del territorio colombiano, la cual está distribuida en 18 departamentos, 5 capitales departamentales, 27 cabeceras municipales, 75 municipios y 1.856 localidades, 6.787 kW instalados en energía renovables, 227.439 kW de capacidad operativa, 209.204 usuarios atendidos, 94 entes prestadores y 431.000 usuarios sin servicio de energía (IPSE, 2017), sin embargo corresponden a una porción de tan sólo 1.8 millones de habitantes, lo que corresponde a aproximadamente un 3% con respecto a la población total del país (Dyner, Hoyos, & Franco, 2008). La dificultad del acceso al servicio de energía radica en que la región al no tener acceso se ve afectada en mejorar la calidad de vida, acceso oportuno a la educación, la salud, adicionalmente que son poblaciones vulnerables, en donde se tienen niveles de pobreza, lo que retrasa el desarrollo de las regiones.

Figura 5 Distribución espacial ZNI en Colombia

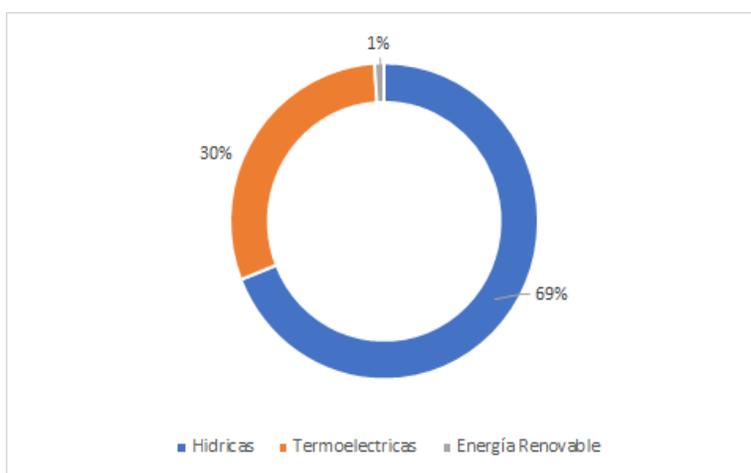


Fuente: IPSE, <http://www.ipse.gov.co/>

Colombia es un país muy privilegiado y se caracteriza porque su canasta energética es la sexta más limpia a nivel mundial, puesto que está conformada en un 69% por fuentes hídricas, cerca del 30% de la energía restante proviene de termoeléctricas que son a base de

carbón, gas y diésel y un 1% aproximadamente proviene de fuentes de energía renovable. Dicho panorama hace que nuestro sistema de generación sea muy vulnerable en el corto plazo por la afectación del cambio climático y los ciclos hidrológicos (Restrepo Trujillo, Moreno Chuquen, & Jiménez García, 2020); por lo que el Gobierno Nacional para el 2022 tiene planteada la transformación energética, con el fin de que la matriz energética tenga una participación del 12% con energías renovables no convencionales, logrando de esta manera diversificar la canasta energética del país.

Figura 6. Distribución tipo de fuente generación energía en Colombia



Fuente: Elaboración Propia

A un largo plazo, Colombia presenta un crecimiento económico de 3%, y para mantener estos niveles en un mundo cada vez más consciente de las implicaciones ambientales del desarrollo económico, Colombia debe enfrentar grandes desafíos, los diferentes sectores de la economía se comprometen e invierten en la reducción de emisiones de CO₂, a través de políticas de eficiencia energética, en particular en la industria, el comercio y los hogares. El sector transporte empieza a implementar soluciones tecnológicas con bajas emisiones. La leña desaparece como opción energética en áreas urbanas, aunque para las ZNI la mayoría de la población continúa usando la leña como opción energética. De igual manera es importante resaltar que Colombia recibe recursos de cooperación, obteniendo de esta manera que cada sector puede establecer metas más ambiciosas de reconversión tecnológica y/o eficiencia energética, con el fin de que todas estas acciones sean

encaminadas al cumplimiento de los compromisos adquiridos en la Cumbre Mundial del Cambio Climático en París (COP21).

Tabla 2. Proyectos de FNCE con certificación - Tipo de Fuente

Tipo de FNCE	No. de Proyectos Avalados	Capacidad Avalada (MW)	Valor Inversión estimada MCOP (Sin IVA) - Avalado UPME
Biomasa	9	47,90	49.988
Eólica	9	1.167,38	110.339
Geotérmica	0	0,00	0
PCH	5	33,95	10.714
Solar	100	29,17	60.685
Total	123	1.278,40	231.727

Fuente: UPME 2019

De la tabla No. 2, se puede deducir que el 81,3%, corresponde a proyectos de FNCE con tipo de fuente solar, lo que demuestra que Colombia está trabajando fuertemente en diversificar su canasta energética y le está apuntando en mayor proporción a las FNCE.

Tabla 3. Proyectos de FNCE con certificación – Rango de capacidad

Rango de Capacidad	No. de Proyectos Avalados	Capacidad Avalada (MW)
Entre 0 - 0.1 MW	68	2,86
Entre 0.1 -1 MW	36	11,49
Entre 1-10 MW	7	32,52
Entre 10-20 MW	3	39,53
Entre 20-50 MW	2	45
Entre 50-100 MW	4	330
Mayor a 100 MW	3	817
Total	123	1.278,40

Fuente: UPME 2019

Según la UPME (2019), el número de proyectos eólicos representan el 7% de las solicitudes, pero el 91% en potencia, de igual manera el 29% de los proyectos de FNCE certificados, son proyectos entre 101 kW y 1 MW, siendo estos de pequeña escala.

En cuanto a la evaluación e inventarios de las fuentes no convencionales de energía, a octubre de 2019, con recursos del FAZNI y el IPSE se han instalado y puesto en operación cerca de dieciocho mil (18.000) soluciones solares fotovoltaicos individuales (“SSFVI”)

con almacenamiento, con el fin de cerrar la brecha en cobertura del servicio de energía eléctrica y propender por la universalización del servicio en el país.

8 OBJETIVOS

8.1 OBJETIVO GENERAL

Caracterizar las perspectivas y oportunidades para la integración de energía solar fotovoltaica en ZNI en el marco de la gestión de negocios.

8.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

1. Caracterizar los sistemas para la generación de energía solar fotovoltaica en los casos de estudio en zonas no interconectadas.
2. Determinar las condiciones técnicas, sociales, económicas y ambientales que contribuyen con la factibilidad de proyectos de energía solar fotovoltaica en zonas no interconectadas.
3. Identificar las perspectivas y oportunidades para la integración de la energía solar fotovoltaica en el marco de las políticas públicas territoriales y la gestión de negocios de energía en los casos de estudio para zonas no interconectadas.

9 METODOLOGÍA

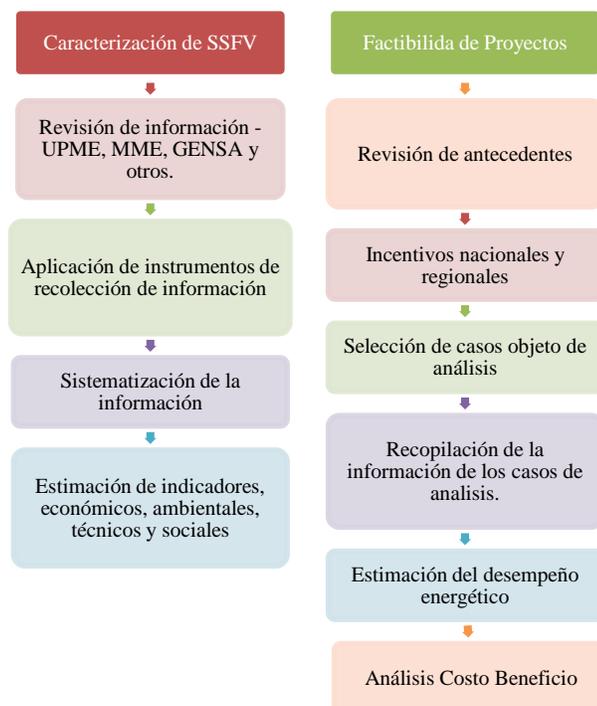
9.1 ENFOQUE Y TIPO DE INVESTIGACIÓN

Este proyecto se realizó con una investigación de enfoque exploratorio y descriptivo, abordando metodología como análisis de la información recolectada a través del instrumento aplicado, con el fin de realizar un estudio de caso en la generación de energía con SSFV en las ZNI.

9.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

En la figura 7 se puede observar el diseño de la investigación para el logro de los objetivos planteados:

Figura 7. Diseño de la Investigación



Fuente: elaboración propia

9.3 UNIDAD DE TRABAJO Y UNIDAD DE ANÁLISIS

La unidad de trabajo comprende las Zonas no Interconectadas de los departamentos de Guainía y Vaupés.

La unidad de análisis son la granja solar del Municipio de Inírida y los paneles solares ubicados en la central de generación en el Municipio de Mitú.

9.4 PROCEDIMIENTOS, TÉCNICOS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN

Los procedimientos, la técnica y los instrumentos de recolección se describen a continuación:

Metodología

Se identificaron las perspectivas y las oportunidades para la integración de la energía solar en el marco de las políticas públicas territoriales siendo estas un impulso de la calidad de vida y transformación productiva en las ZNI, a partir de los diferentes estudios e investigaciones realizadas en torno a esta zona del país.

De igual manera se identificaron y evaluaron las condiciones técnicas, sociales, económicas y ambientales que contribuyen a la factibilidad de proyectos de energía solar en las ZNI, generando un análisis de factibilidad en algunos casos de estudio en dichas zonas.

Para caracterizar los SSFV en los casos de estudio en las ZNI, se plantea el diligenciamiento del instrumento de campo establecido para realizar una caracterización adecuada de dichos sistemas, se tomarán datos en un SSFV instalado en Inírida y Mitú, se tendrán en cuenta variables ambientales de radiación y temperatura ambiente, variables como Corriente – Tensión y la temperatura de los paneles.

Actividades

1. Revisión de diferentes fuentes de investigaciones y proyectos en las ZNI.
2. Revisión de las bases de datos de la UPME, MME, IPSE.
3. Análisis de factibilidad en algunos SSFV ubicados en ZNI.

4. Aplicación del instrumento de recolección para la caracterización de los SSFV.
5. Recopilación y análisis de los datos suministrados de los SSFV.
6. Estimación de los indicadores económicos, ambientales, técnicos, sociales y el análisis de costo beneficio.

10 RESULTADOS

Los resultados de la investigación se presentan en relación con los objetivos planteados. Respecto al primero se presenta a continuación las respuestas obtenidas de la aplicación del instrumento de caracterización para el caso de estudio de Inírida y Mitú. Para el segundo objetivo se analizó el comportamiento de la demanda por usuario en algunas ZNI, los potenciales energéticos en los casos de estudio y se realizó un comparativo de las tecnologías que podían o no ser aplicadas en dichas zonas. Para el tercero se identifican las oportunidades que se presentan en los casos de estudio, frente la integración de la energía solar fotovoltaica en marco de las políticas públicas, se hace un análisis de los costos de generación en los casos de estudio y las diferentes fuentes de financiación que tiene el país para implementar este tipo de proyectos.

10.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS SISTEMAS PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN LOS CASOS DE ESTUDIO EN ZONAS NO INTERCONECTADAS

10.1.1 Características Técnicas del Sistema Inírida - Guainía

El municipio de Inírida, departamento del Guainía, tiene una altitud de 100 msnm, en las coordenadas geográficas 67°55´ Este y 3°50´ Norte, población aproximada de 32.000 habitantes, una temperatura promedio de 25 °C, con irradiación global entre 4,0 y 4,5 kWh/m²/día, y una distancia de referencia de 600 km a Villavicencio (Inirida, s.f.); tiene una extensión de 17.000 km², de esta área, el 99,3% fue titulada por el INCORA a los diferentes resguardos indígenas presentes en el departamento del Guainía; teniendo de esta manera que el 0,87% del territorio para el asentamiento de la cabecera Municipal.

El municipio cuenta con el Aeropuerto Cesar Gaviria Trujillo, el cual recibe vuelos con pasajeros y carga; dentro de la cabecera municipal cuenta con vías terrestres, pero no cuenta con vías de acceso al interior del país. El departamento del Guaviare es conocido como tierra de muchas aguas, por la cantidad de ríos que posee, los cuales en su mayoría son navegables; el río Inírida nace en el departamento del Guaviare, cerca de San José y

atraviesa desde allí todo el país hasta entregar el caudal de sus aguas negras al río Guaviare, debajo de Puerto Inírida, permitiendo de esta manera tener varias rutas fluviales, la ruta más importante es la que comunica a Inírida con la ciudad de Villavicencio a través del río Guaviare.

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 Diesel y un porcentaje de aceite de palma); la Central de Generación cuenta con cinco (5) grupos electrógenos marca Cummins, 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). Actualmente la actividad de generación está a cargo de la empresa GENSA S.A ESP, la comercialización de la energía está a cargo de la empresa de Energía del Guainía EMELCE S.A ESP, siendo esta una de las empresas con mayor cobertura en redes de las ZNI, puesto que abarca el 90% del total de la población.

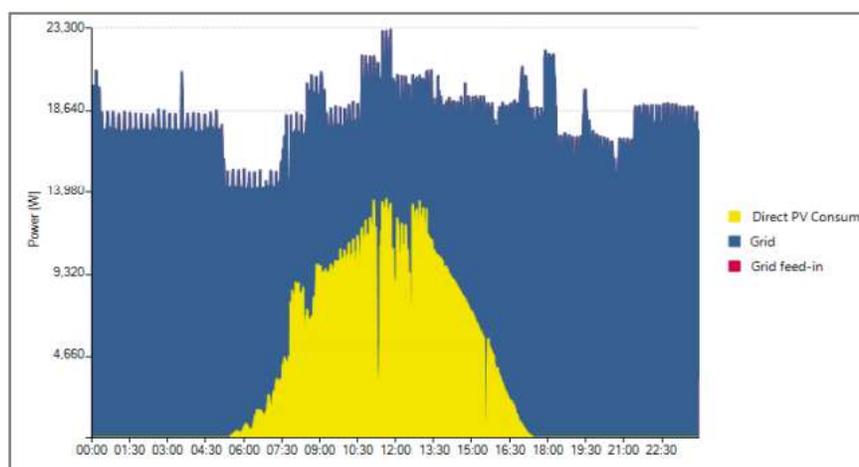
La tarifa para establecer el costo unitario de prestación del servicio público de energía eléctrica en las ZNI se enmarca en un esquema establecido por la Resolución CREG 091 de 2007, la cual define la metodología y las fórmulas con las cuales se remunerarán las actividades de generación, distribución y comercialización, teniendo de esta manera que para el Municipio de Inírida el costo de generación asciende a \$1.100 kWh aproximadamente.

Con el fin de viabilizar los proyectos con fuente no convencionales de energía, GENSA S.A ESP, en el 2014 instaló un sistema solar de 18 kWp, lo que permitió obtener datos reales que pueden afectar la generación solar como la temperatura ambiente, la humedad y la temperatura en los paneles solares; teniendo de esta manera seguimiento, información confiable y real, y un dimensionamiento del potencial energético solar en la zona.

El sistema 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 sistema solar está instalado sobre la cubierta (techo) de la casa de máquinas de la Central, ocupa un área aproximada de 120 m², consta de un generador solar fotovoltaico, las protecciones de corriente alterna AC, las protecciones de corriente continua CC, los inversores, 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, como iluminación, aires acondicionados, pequeñas herramientas, equipos de cómputo entre otros.

Figura 8. Curva de Potencia



Fuente: GENSA S.A ESP

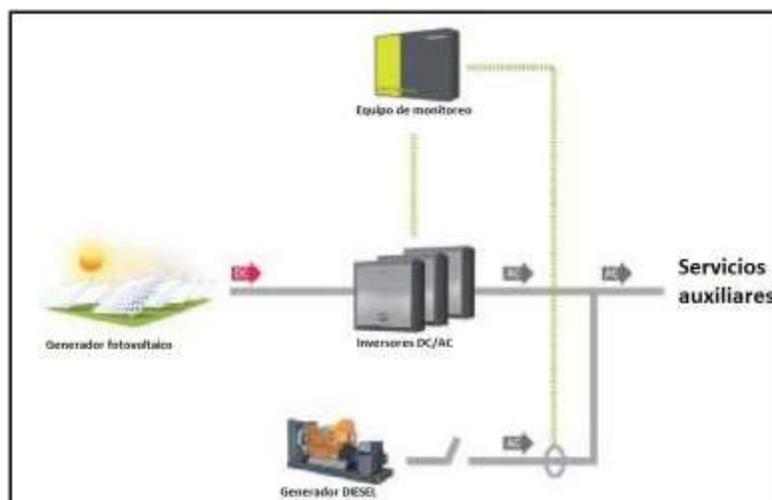
En la figura No. 8 se puede observar el comportamiento de un día de curva de potencia para un día característico, en donde el color azul es la demanda total de los servicios auxiliares y el color amarillo es la generación solar, teniendo de esta manera que el sistema solar alcanza su máximo de potencia (13,8 kW) aproximadamente hacia el mediodía, aportando en promedio 18% de la demanda total de los servicios auxiliares de la central.

En la tabla No. 4. se describe técnicamente el esquema general del sistema solar instalado para el consumo de los servicios auxiliares de la central y realizar monitoreo en tiempo real de los datos relevantes para viabilización de proyectos.

Tabla 4. Información Técnica

Capacidad instalada	18 kWp- Conformado por 72 paneles solares de 250 Wp. cada uno
Tipo de instalación	Conexión directa a red sin acumulación a través de 3 inversores monofásicos de 5 kW cada uno.
Puesta en operación	29 de noviembre de 2014.
Gestor de Eficiencia Energética (EMS)	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.
Equipo de monitoreo de parámetros ambientales	Con estas mediciones se logrará contar con datos precisos y confiables de parámetros ambientales, que permitirán verificar el potencial solar en la zona y viabilizar futuros proyectos de esta naturaleza.

Figura 9. Esquema general de equipos sistema solar Central de Generación de Inírida



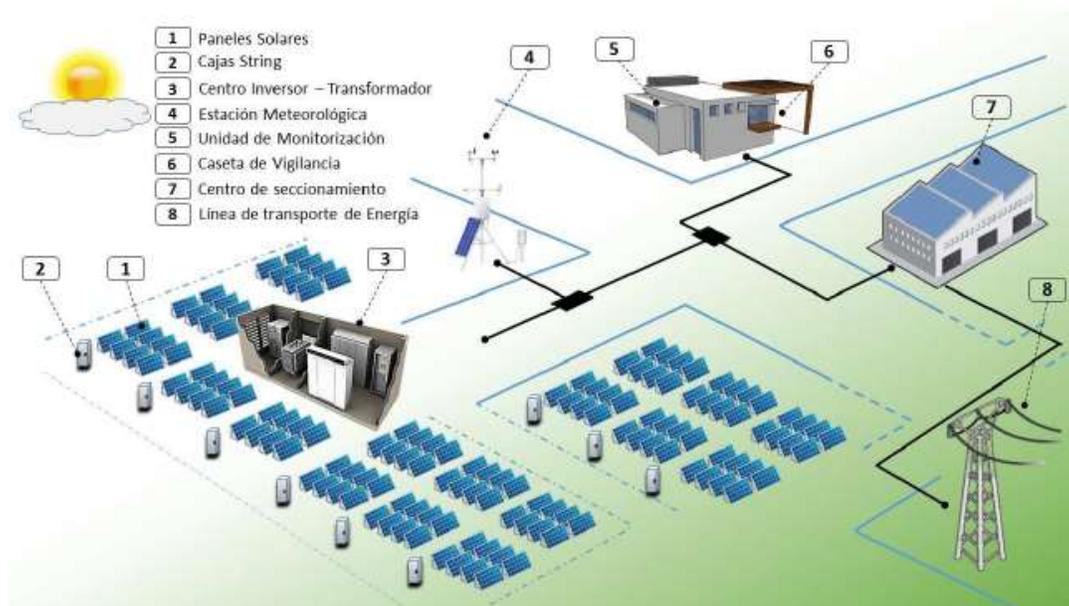
Fuente: GENSA S.A ESP

Descripción de la Granja Solar de Inírida

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; la GSI es una instalación Fotovoltaica de 2,49 MWp.

La Granja Solar de Inírida se acopla y sincroniza a la central de generación diésel de Inírida (central térmica compuesta por grupos electrógenos con motores de combustión interna a base de combustible diésel, operada por GENSA S.A. E.S.P.) a través de una línea de interconexión con nivel de tensión de 34,5 kV y juntas 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.

Figura 10. Esquema básico de la Granja Solar de Inírida



Fuente: GENSA S.A ESP

En la figura 10 se presenta el esquema general de la GSI, en la que se diferencian 8 partes principales:

1. *Paneles solares*: La GSI está compuesta por 7560 módulos fotovoltaicos de 330 W cada uno, marca JA Solar, conectados en serie y paralelo para producir 2,49 MWp. Los paneles solares están soportados sobre estructuras fijas orientadas al sur con una inclinación de 10° respecto a la horizontal.
2. *Cajas String o cajas de cadenas*: Las 14 cajas string de la planta FV tienen un nivel de protección IP65, combinan un número 18 series de 30 módulos cada una. Cada caja incluye un interruptor-seccionador y un fusible en cada entrada.
3. *Centro Inversor – Transformador*: En este contenedor se encuentra un inversor, un transformador BT/MT y una celda de protección de MT. El inversor de 2,25 MVA es el elemento principal en la Granja Solar de Inírida ya que esta planta solo cuenta con un equipo de esta naturaleza para evacuar toda la potencia producida por los paneles solares, de ahí la gran importancia de este en la instalación solar. El transformador eleva la tensión de 0,66 kV hasta 34,5 kV que es conducida hasta el centro de seccionamiento, con una eficiencia mayor o igual al 98,8%.
4. *Estación meteorológica*: la granja cuenta con una estación meteorológica conformada por los siguientes equipos: Célula solar calibrada para calcular la radiación solar real en W/m² situada frente a los módulos en su mismo plano, sonda para medir la temperatura ambiente, sonda para medir la temperatura de los módulos, piranómetro, anemómetro, veleta, pluviómetro y barómetro (ISE, 2018). Los datos de esta estación, junto con datos enviados por el inversor son recogidos por la unidad de monitorización.
5. *Unidad de Monitorización*: Compuesta por un sistema de adquisición de datos, las interfaces hombre – máquina, el cableado de monitorización, entre otros, cuya función consiste en controlar todas las variables de la planta solar y proveer al

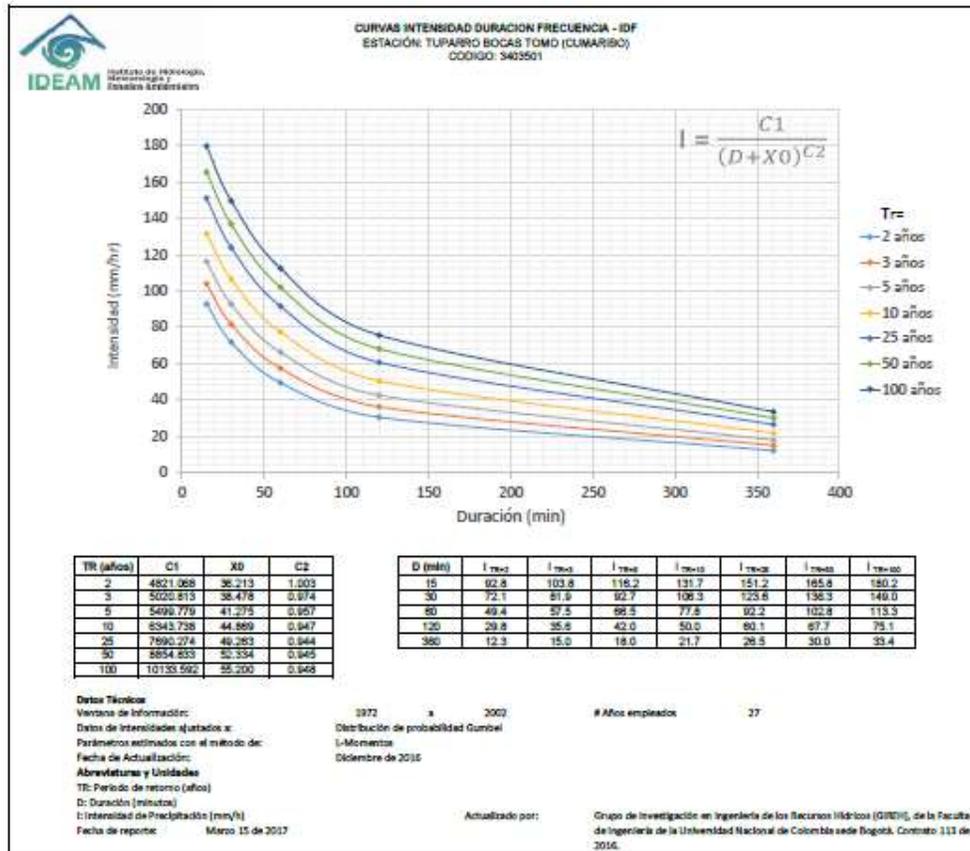
usuario información completa sobre el comportamiento general de la central de generación. Esta unidad se encuentra en el centro de control, en una subdivisión de la caseta de vigilancia. La comunicación entre el inversor, el centro de control y el centro de seccionamiento se realiza a través de un anillo de fibra óptica.

6. Caseta de vigilancia: Edificación dividida en tres espacios, una oficina dotada de equipos de cómputo, comunicación y CCTV con videograbadoras digitales que se encargan de recibir las señales de video y almacenarlas en formato digital, la sala de control y el cuarto de baño con entrada independiente.
7. Centro de Seccionamiento: En este centro se realizan las maniobras de apertura de la línea de Media Tensión que llega subterránea y sale para acoplarse a la central diésel. En este edificio se encuentran: Celda de línea de entrada, celda de protección transformador, transformador auxiliar, cuadro de BT, celda de medida, armario y contador de medida, celda de salida, armario de control, entre otros.
8. Línea de Transporte de energía: Red de media tensión que transporta la energía producida por la planta solar hasta el punto de intersección con la central diésel. También sirve para recibir la tensión desde la central diésel en horas de no sol para alimentar los equipos internos de la GSI.

La planta fotovoltaica está instalada en un lote de terreno arenoso con pastos, con muy poca pendiente, predominantemente plano y con crecimiento de baja vegetación por debajo y alrededores de los paneles fotovoltaicos. De acuerdo con los resultados del estudio hidrológico realizado en la etapa previa a la construcción de la granja, para lo cual se utilizaron las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) mostradas en la figura 11, el lote se ubica en el punto alto de la extensión del terreno por lo que no se producen aportes de agua desde el exterior de la misma. Teniendo en cuenta el tipo de terreno, la duración de las fuertes lluvias (90, 60 y 30 minutos) y la modelización de escorrentía, el estudio indicó que no son necesarias infraestructuras de drenaje en la planta fotovoltaica, puesto que el

agua producida por las precipitaciones que se han tenido en cuenta no ocasiona ningún problema para la zona de proyecto.

Figura 11. Curvas Intensidad Duración Frecuencia – IDF Estación Tuparro Bocas Tomo (Cumaribo)



Fuente: IDEAM, <http://www.ideam.gov.co/curvas-idf>

10.2 Características Económicas del Sistema Inírida - Guainía

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 costo de los principales equipos como los paneles solares, centro de inversor y transformador, estructura soporte, subestación, centro de seccionamiento, costaron alrededor de 10.000 MCOP, la mano de obra costó alrededor de

400 MCOP; el inversionista aplicó a los incentivos tributarios definidos en la Ley 1715 de 2014, teniendo de esta manera un costo total aproximado del proyecto de 14.000 MCOP.

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.

Los paneles solares tienen una vida útil de 25 años aproximadamente, esta información es de vital importancia para la estimación de producción de energía, dado que luego de 25 años la eficiencia de los paneles es bastante baja (EcoInventos Green Technology, 2020). Sin embargo se conocen proyectos en España por ejemplo, en donde los paneles solares llevan más de 30 años en funcionamiento.

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.

Dentro de la vida útil de los elementos del sistema se debe reemplazar con mayor frecuencia (2 a 4 años), los fusibles, con un costo aproximado de \$500.000 COP en un año. Dentro de la vida útil del sistema cada año se debe reemplazar aproximadamente el 10% de ellos.

Para preservar el sistema y garantizar el buen funcionamiento, se debe realizar mantenimiento periódico, consiste en la limpieza de los paneles la cual dependerá de la producción de energía según reporte del sistema de control, puesto que por las fuertes lluvias que se presentan en la zona, demuestran que la mayoría de los paneles son lavados de manera natural, pero por estar ubicada (GSI) en campo abierto, la zona es frecuentada por aves que en los días nublados se posan sobre los paneles dejando su excremento sobre la superficie, lo que obliga al lavado de los paneles, de igual manera se debe podar al terreno, mantenimiento predictivo con termografía como mínimo una vez al año. Dichos mantenimientos deben ser ejecutados por firmas contratistas de la zona y externas, con un costo aproximado de 200 MCOP.

La GSI es completamente automático, inicia su operación aproximadamente a las 6:00 am cuando sale el sol y deja de operar a las 5:00 pm al atardecer, durante el día se toman registros a través de SCADA pero toda la operación es automática a través del MPC que es el Master Plant Controller, sin embargo en los primeros meses de operación se contó con una persona calificada que monitorea constantemente variables de la Granja. Después de los primeros meses de operación se puede establecer el costo nivelado de energía solar el cual es apropiadamente de 600 \$/kWh.

El SCADA toma los siguientes datos en frecuencias de cada 5 minutos: potencia, energía, tensión, corriente, factor de potencia y variables climáticas a través de una estación meteorológica como radiación, temperatura ambiente, humedad, presión y nivel de lluvia.

10.2.1 Características Ambientales del Sistema Inírida - Guainía

Como se expuso anteriormente la generación de energía en el municipio de Inírida, se realiza con cinco (5) grupos electrógenos a base de combustible líquido (Bio-Diésel), las cuales operan las 24 horas al día los 365 días del año, teniendo efectos ambientales negativos considerables, como la emisión de gases contaminantes causantes del efecto invernadero, a pesar de que la Central cuenta con cabinas de insonorización, la contaminación auditiva en las inmediaciones son evidentes; adicionalmente se generan residuos peligrosos como lubricantes usados, aceites, grasas, filtros y demás repuestos que por su vida útil dejan de funcionar.

Para poder garantizar la operación adecuada de la Central, se requiere tener un suministro constante de combustible, repuestos, consumibles y en mantenimientos mayores se requiere de mano de obra calificada; lo que implica tener una logística de transporte terrestre, fluvial y/o aéreo, puesto que deben ser llevados desde el interior del país, lo que genera altos costos.

La radiación solar promedio en el municipio de Inírida es de 400 W/m², lo que permite que en un año se deje de consumir aproximadamente 290.000 galones de diésel tipo B2, lo que implica dejar de emitir a la atmósfera aproximadamente 2.970 TonCO₂.

Para la instalación de los paneles de la GSI se utilizó un área de 3,5 hectáreas, de un predio baldío, deforestado años atrás, por lo que se encontraron pocas especies, teniendo de esta manera una mínima afectación a especies, sin embargo se realizó un plan de conservación en el predio. Las afectaciones paisajísticas fueron mínimas, se comentó anteriormente, por las condiciones del lote, ya había sido deforestado y el aprovechamiento forestal fue mínimo, talando únicamente 55 árboles, para lo cual se realizó una medida compensatoria definida en conjunto con la CDA del Guainía.

10.2.2 Características de Confiabilidad del Sistema Inírida - Guainía

La confiabilidad del sistema solar se centra fundamentalmente en su dimensionamiento al valorar la disponibilidad energética del sistema mediante la probabilidad de pérdida de carga, asociada básicamente a la radiación solar y a 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 confiabilidad entre el 70% y 90%.

La generación con la GSI no cubre la demanda del municipio puesto que así fue diseñado el sistema. Al tratarse de una fuente de generación que depende de un recurso no gestionable como el sol, siempre se debe garantizar energía de respaldo, en este caso diésel, que durante las horas de sol se mantiene en reserva rodante y lo que hace la Granja Solar es disminuir la generación con diésel, pero sin acumulación es imposible reemplazarla en un 100%.

La GSI, como cualquier sistema de generación, presenta contingencias, en particular se han presentado contingencias con respecto a la operación conjunta del sistema híbrido solar – diésel, lo que ha implicado un gran reto al integrar dos tecnologías en una zona apartada del país, en donde no se tiene una red robusta de referencia, ni se cuenta con los insumos a la mano para realizar los ajustes que se requieran, como se puede presentar al interior del país. En este proceso se han implementado ajustes a medida que se ha ido conociendo el comportamiento de la tecnología.

10.1.5. Características Social del Sistema Inírida - Guainía

Las energías renovables de carácter no convencional son bastante necesarias en un periodo del mundo en donde nos preocupamos por los impactos ambientales y la disminución de recursos fósiles. Las ER son el futuro y el gran reto es hacer de ellas una fuente de generación de carga base, confiable que permitan efectivamente el reemplazo de fuentes de energía convencionales como gas, carbón.

La ejecución del proyecto de la Granja Solar se divide en dos etapas, la primera fue la construcción de la Granja Solar y la segunda consiste en la operación y generación. En la primera etapa se generaron impactos sociales principalmente en la generación de empleo, en la época de mayores actividades 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 generan 3 empleos directos para vigilancia y monitoreo del sistema y 20 empleos por año para los diferentes servicios de mantenimiento.

Con la implementación del sistema se tienen varios beneficios sociales en aspectos productivos, económicos, culturales, ambientales, sociales, entre otros, a continuación se describen algunos de ellos:

Aspectos sociales

Se realizaron capacitaciones técnicas al personal de la zona que ha laborado en el proyecto.

Se realizaron jornadas de socialización del proyecto con Autoridades locales, Juntas de Acción Comunal, comunidades indígenas y estudiantes.

Aspectos económicos

Con la ejecución del proyecto se logra una utilidad para GENSA S.A ESP con la intermediación de energía que compra a Sol de Inírida y a su vez vende a EMELCE, lo que

representa ingresos adicionales para GENSA con la ejecución del proyecto, teniendo en cuenta que no se asumieron riesgos ni costos durante su ejecución.

Aspectos ambientales

La operación de la Granja Solar es totalmente pasiva y silenciosa, es decir no se requiere operar permanentemente equipos a diferencia de la generación con motores diésel, la operación se limita a monitoreo periódico de variables eléctricas del proceso de generación de energía, y variables climáticas como temperatura, radiación, entre otras, por lo tanto en la zona aledaña no se generará ningún tipo de efecto adverso como ruido o contaminación. Durante la ejecución del proyecto se ha apoyado a la CDA en suministro de herramientas y consumibles para la siembra.

Reducción de generación con combustible diésel, el cual es bastante costoso y contaminante, dejando de emitir a la atmósfera aproximadamente 2.927 Ton CO₂ (toneladas de dióxido de carbono) que es uno de los gases responsables del calentamiento global, con lo cual se mejora la calidad del aire en la zona. Los costos de generación solar, comparados con los costos de generación diésel, presentan una disminución del 18%.

Inírida es pionera de la energía solar en las ZNI, lo que permite al municipio contar con una planta real en la cual se puedan impartir conocimiento de energías renovables para propios y foráneos. Con el fin de dar a conocer a la comunidad sobre el proyecto, se realizaron aproximadamente 8 actividades de difusión y socialización del proyecto con autoridades locales, líderes comunales, comunidades indígenas y estudiantes en diferentes escenarios, talleres participativos y eventos.

El proyecto es una iniciativa de GENSA S.A ESP en el marco del objetivo empresarial: Diversificar su parque de generación con énfasis en Fuentes No Convencionales de Energía Renovable. Con el objetivo de buscar fuentes alternas al combustible diésel que sean más amigables con el medio ambiente y sostenibles desde el punto de vista técnico y económico, esto dado que la generación solar no requiere incurrir en altos costos y riesgos

logísticos como el transporte de combustible, grandes equipos, lo que genera altos costos operativos.

El nivel de satisfacción que se tiene con el sistema solar instalado es de cuatro (4), dado que efectivamente el proyecto ha generado impactos muy positivos y ha permitido incursionar en una tecnología limpia, permitiendo a GENSA S.A ESP incrementar su capacidad instalada en generación en la ZNI con muy bajo riesgo. Sin embargo el nivel de satisfacción no es 5 dados los retos e inconvenientes de carácter logístico que se generaron el desarrollo del proyecto lo que implica una planeación mucho más detallada para futuros proyectos.

10.2.3 Características Técnicas del Sistema Mitú – Vaupés

El Municipio de Mitú, departamento del Vaupés, tiene una altitud media de 183 msnm, está ubicado en las coordenadas geográficas 67°14' y los 10°48' de latitud norte y entre los 69°50' y 70°30' de longitud oeste del meridiano de Greenwich, tiene una población aproximada de 31.568 habitantes, una temperatura promedio de 27 °C, con irradiación global entre 3,68 y 4,92 kWh/m²/día, y una distancia de referencia de 660 km a Bogotá (Inirida, s.f.). Tiene una extensión de 54.135 km², con aproximadamente 316 kilómetros de frontera con la Republica de Brasil, el INCORA constituyo los 3 resguardos indígenas del departamento del Vaupés que comprenden una extensión de 5.102.649 hectáreas del departamento.

El municipio cuenta con el Aeropuerto Alberto León Bentley, el cual recibe vuelos con pasajeros y carga del interior del país (víveres, combustibles, materiales y otros); dentro de la cabecera municipal cuenta con vías terrestres, pero no cuenta con vías de acceso al interior del país. La principal arteria fluvial del municipio y el departamento es el río Vaupés, un río apto para la navegabilidad de embarcaciones mayores, solamente en su parte alta y durante siete meses al año. Llegar al municipio de Mitú desde San José del Guaviare es una travesía que requiere de tiempo, varios trasbordos y es riesgoso por los problemas de orden público que se presentan en la zona.

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 marca Cummins, 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. Actualmente la actividad de generación está a cargo de la empresa GENSA S.A ESP, la comercialización de la energía está a cargo de la Gobernación del Vaupés.

Como se dijo anteriormente, la Resolución CREG 091 de 2007 define la metodología y las fórmulas con las cuales se remuneran las actividades de generación, distribución y comercialización de energía, se tiene de esta manera que para el Municipio de Mitú el costo de generación asciende a \$3.000 kWh aproximadamente.

Con el fin de viabilizar los proyectos con fuente no convencionales de energía en el municipio, GENSA S.A ESP, en el 2017 instaló un sistema solar de 47 kWp, lo que permitió obtener datos reales en factores que pueden afectar la generación solar como la temperatura ambiente, la humedad y la temperatura en los paneles solares; teniendo de esta manera información confiable y real, y un dimensionamiento del potencial energético solar en la zona.

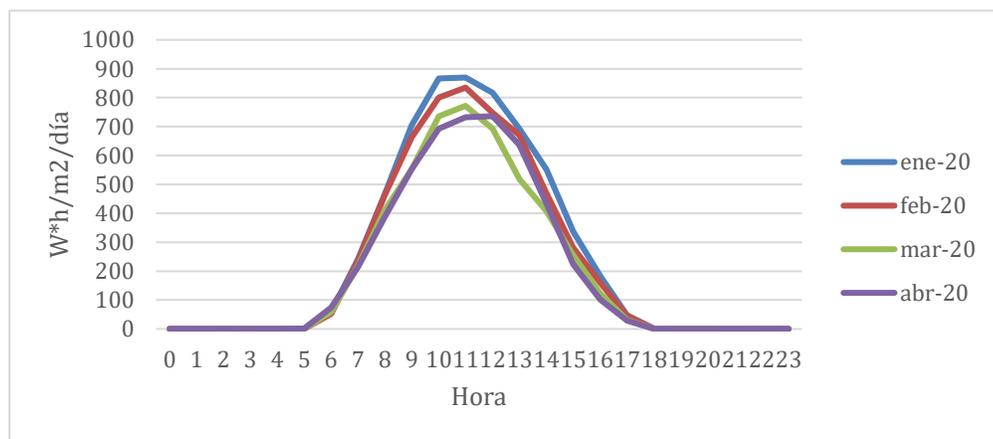
Así mismo en el 2019 el Centro Nacional de Monitoreo del IPSE, instaló una estación de medición de potenciales energéticos en la Central de Generación diésel, esta estación tiene la capacidad de realizar mediciones para las dos componentes del viento (velocidad y dirección), en rangos de 0 m/s a 60 m/s para la velocidad y para la dirección de 0° a 359° instalado a 10 metros de altura. La variable de radiación solar tiene un rango espectral de 285 nm a 2800 nm a 9 metros de altura. Al contar con un sistema de alimentación por paneles solares la estación se caracteriza por tener una independencia energética.

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

sistema solar 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, las protecciones de corriente alterna AC, las protecciones de corriente continua CC, dos inversores 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 la figura No. 12 se puede observar el comportamiento de radiación solar máxima por horas, en el periodo de enero a abril de 2020 se presentó una radiación solar máxima de 5,84 kW*h/m², una radiación solar promedio de 5,22 kW*h/m² y una radiación mínima de 4,78 kW*h/m², de esta manera el sistema solar alcanza su máximo de potencia aproximadamente hacia el mediodía, con una eficiencia de 16,5%.

Figura 12. Radiación solar máxima por horas en el mes de la Estación MITÚ 2019/07-2019/12



Fuente: Elaboración propia con información del CNM – IPSE

En la tabla No. 5. se describe técnicamente el esquema general del sistema solar instalado para el consumo de los servicios auxiliares de la central.

Tabla 5. Información Técnica

Capacidad instalada	47 kWp- Conformado por 171 paneles solares de 275 Wp. cada uno
Tipo de instalación	Conexión directa a red sin acumulación a través de 2 inversores trifásicos marca SMA.
Puesta en operación	01 de diciembre de 2017.
Gestor de Eficiencia Energética	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.
Equipo de monitoreo de parámetros ambientales	Con estas mediciones se logrará contar con datos precisos y confiables de parámetros ambientales, que permitirán verificar el potencial solar en la zona y viabilizar futuros proyectos de esta naturaleza.

Fuente: Elaboración propia

10.2.4 Características Económicas del Sistema Mitú – Vaupés

El sistema solar instalado en la Central tiene una vida útil de 25 años aproximadamente, es de propiedad de GENSA S.A ESP, inicialmente el proyecto se inscribió ante la UPME fase 1, pero por las fechas de expedición de los permisos no permitieron obtener los incentivos tributarios establecidos en la Ley. Debido a que GENSA S.A ESP es la empresa encargada de la generación en el municipio, pudo acceder a recursos del Ministerio de Minas y Energía para la ejecución del proyecto, con un costo total de la inversión de \$300 MCOP aproximadamente.

Para preservar el sistema y garantizar el buen funcionamiento se debe realizar mantenimiento periódico, el cual consiste en la limpieza de los paneles la cual dependerá de la producción de energía según reporte del sistema de control, mantenimiento predictivo

con termografía como mínimo una vez al año. Dichos mantenimientos deben ser ejecutados por personal de la central, con un costo aproximado anual de \$2 MCOP.

El sistema solar es completamente automático, inicia su operación aproximadamente a las 6:00 am cuando sale el sol y deja de operar a las 5:00 pm aproximadamente, durante el día se toman registros a través de SMA pero toda la operación es automática a través del MPC que es el Master Plant Controller.

10.2.5 Características Ambientales del Sistema Mitú – Vaupés

En la mayoría de las localidades de las ZNI, la generación de energía se realiza con plantas de generación diésel, que por la ubicación geográfica y su difícil acceso, estas zonas presentan dificultades de transporte, generan elevados costos de combustible, operación y mantenimiento, esto se refleja en el costo del servicio kWh. Las plantas de generación diésel producen gases de efecto invernadero y otros contaminantes que se generan por su operación, también presentan una contaminación de tipo auditiva, a pesar de contar con cabinas de insonorización afecta notablemente a la comunidad y a su entorno en general.

Sin embargo y teniendo en cuenta que 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, adicionalmente la generación de este sistema para el consumo interno (servicios auxiliares), se han dejado de emitir 30 TonCO₂.

10.2.6 Características de Confiabilidad del Sistema Mitú – Vaupés

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.

10.2.7 Características Social del Sistema Mitú – Vaupés

A pesar de que el sistema solar de la Central de Mitú no tiene un impacto tan alto como la Granja Solar de Inírida, se ha tenido una muy buena aceptación, sobre todo porque permite tener datos reales de la radiación en la zona, información que es fundamental para el análisis y estudio de la viabilidad de proyectos con FNCER en estas zonas que por su difícil acceso, no se pueden interconectar al SIN, generando altos costos en la generación, sobre todo por el transporte de combustible. 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, sin embargo en este momento los empleos están ligados al proceso de generación del municipio, dado el caso que no se tuviera esta connotación, se debería contratar una persona para el mantenimiento anual como lavado e inspección visual.

10.3 CONDICIONES QUE CONTRIBUYEN CON LA FACTIBILIDAD DE PROYECTOS DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN ZONAS NO INTERCONECTADAS

Analizar el comportamiento de la potencia es importante para esta investigación, puesto que permite dimensionar la capacidad de otras fuentes de generación de energía que puedan ser aplicadas en estas zonas; por lo que se compara la demanda nacional y de otras ZNI del país, tomando como referencia los usuarios que tiene reportado el SUI de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios.

Tabla 6. Demanda máxima mes en kW/usuarios en algunas localidades ZNI

LOCALIDADES ZNI	USUARIOS	DEMANDA MAX. MES (KW)	KW/USUARIO
INÍRIDA	4.760	3074	0,6458
MITÚ	1.884	1926	1,0223
GUAPI	2.850	1786	0,6267
BAHÍA SOLANO	2.363	1458	0,6170
BAHÍA CUPICA	318	105	0,3302

Fuente: Elaboración propia a partir de información de GENSA S.A ESP

Tabla 7. Demanda máxima en kW/usuarios en el SIN

LOCALIDAD	USUARIOS	DEMANDA (KW)	KW/USUARIO
COLOMBIA	13.600.809	7.357.754,63	0,5410

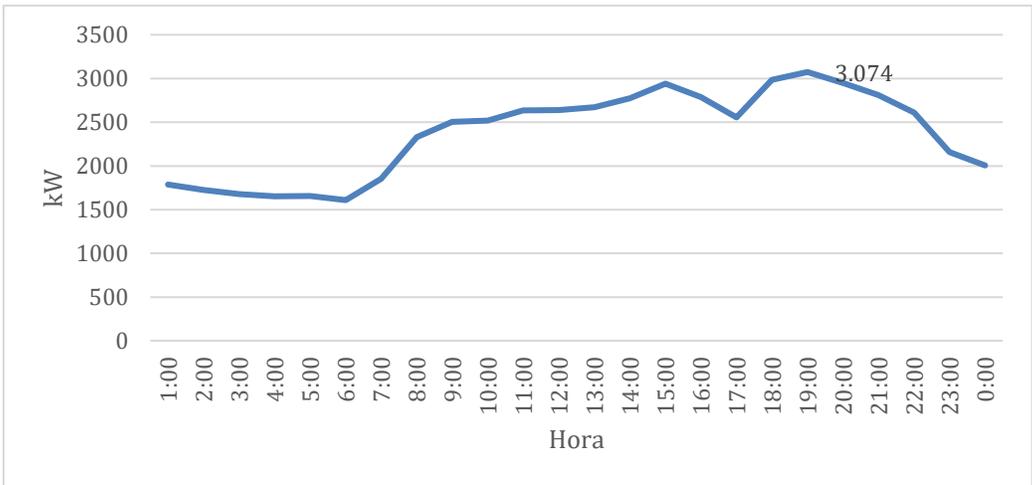
Fuente: Elaboración propia a partir de información del SUI

La demanda de potencia por usuarios tanto en las ZNI como en el SIN depende del consumo que tenga cada uno de ellos, e influye mucho las temperaturas elevadas que presentan estas zonas. De acuerdo con las tablas 6 y 7, se puede evidenciar que en las localidades de las ZNI, la demanda de energía está muy cerca al promedio nacional, estando directamente relacionado con la expansión en la cobertura de infraestructura eléctrica, incrementando los usuarios (hogares, industria) y a su vez con ello la demanda.

La demanda de energía en el municipio de Inírida se ha incrementado en los últimos años, teniendo un crecimiento promedio de 6%, aunque en el 2014 gracias a los proyectos

ejecutados de ampliación de la cobertura del servicio de energía por parte de la empresa comercializadora, se presentó un incremento del 11% respecto al año anterior. El perfil de carga o la demanda de potencia mayor alcanzado históricamente, se presentó en el mes de abril de 2016 con 3.704 kW (ver comportamiento del día de máxima potencia en la Figura No. 13).

Figura 13. Curva de carga día de máxima demanda para el 26 de abril de 2016



Fuente: Elaboración propia a partir de información de GESA S.A ESP

El municipio de Inírida cuenta con un factor de servicio superior al 99%, esto debido a que se tiene una adecuada infraestructura en materia de generación, puesto que la demanda se cubre con el 30% de la capacidad instalada, al permitir de esta manera posibilidades de mantenimiento o indisponibilidad de unidades, adicionalmente el sistema de distribución del municipio está en muy buenas condiciones, lo que permite tener una confiabilidad en la prestación del servicio.

De acuerdo con los datos obtenidos por más de dos (2) años del sistema de monitoreo de la instalación solar de 18 kWp, en variables como temperatura ambiente, radiación solar, humedad relativa, y basado 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 I semestre de 2015), encontrando que los datos tienen muy poca desviación; y basado en la metodología de la CREG, la estimación de producción de energía de la instalación, permitió viabilizar el proyecto de la GSI. Lo anterior se calculó con la siguiente fórmula:

$$EN_{m,t} [kWh / mes] = \frac{1}{I_{STC}} \times K_c \times K_{inc} \times V_{m,t}(TA_{m,t}) \times GHI_{m,t} \times (1 - IHF) \times POT_{dc}$$

Donde:

$EN_{m,t}$	Energía generada en el mes m del año t , en kWh/mes
I_{STC}	Irradiancia en condiciones constantes. $I_{STC}=1kW/m^2$
K_c	Constante por pérdidas de un sistema solar fotovoltaico. $K_c = 0,9139$
K_{inc}	Constante de inclinación a elegir de acuerdo con el tipo de tecnología de estructura de soporte.
$V_{m,t}(TA_{m,t})$	Valor por pérdidas debidas a temperatura ambiente según el tipo de modulo fotovoltaico utilizado para el mes m del año t .
$TA_{m,t}$	Promedio de temperatura ambiente para cada mes m del año t , en °C
$GHI_{m,t}$	Irradiación horizontal agregada en el mes m del año t . [kWh-mes/m ²].
IHF	Indisponibilidad Histórica Forzada.
POT_{dc}	Potencia del conjunto de módulos fotovoltaicos. [kW pico].

10.3.1 Potenciales Energéticos

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/m² y para el departamento del Vaupés, se encuentra en con valores superiores a 400 Wh/m².

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 y un parámetro esencial para el diseño de proyectos solares, que puede afectar la generación solar, como el paso de nube, siendo este un parámetro vital para dimensionar las fuentes energéticas de respaldo ante cambios inesperados en la generación solar.

Para el caso de Inírida, se evidenció que al paso de la nube en un momento determinado, puede presentar el escenario más crítico, que en un segundo se pierda el 80% de la generación solar, de esta manera para un sistema solar a gran escala, se debe contar con un respaldo suficiente para asumir la disminución abrupta que se pueda presentar por el paso de la nube, lo que es importante para garantizar la confiabilidad y continuidad de la prestación del servicio, contar con un respaldo de unidades diésel con capacidad de carga suficientemente amplia, que permita soportar un incremento o disminución instantánea. Dichas unidades deben estar operando, puesto que el proceso de arranque tarda varios minutos, afectando de esta manera la prestación del servicio, o en su defecto se debe contar con baterías que permitan suplir dicha disminución.

GENSA S.A ESP ha realizado diferentes análisis de alternativas energéticas con el fin de buscar la fuente que garantice sostenibilidad técnico-económica y que permita reemplazar parte de la generación de energía diésel, buscando diversificar y aportar a la matriz energética con el fin de garantizar la prestación del servicio.

Soluciones Hidráulicas

Como se habló en el capítulo 10.1.1, el departamento del Guainía es también llamado “tierras de muchas aguas”, porque la mayoría de su territorio es bañado por las aguas de los ríos, Guaviare, Inírida, Orinoco y San Francisco de Atabapo, sus cuencas son anchas y con caudales considerablemente bajos y alturas despreciables, en gran parte del año estos ríos son navegables y es el principal medio de transporte de carga pesada del Municipio.

Los proyectos hidroeléctricos a filo de agua o con embalse requieren de caídas de agua importante, por la topografía de la zona este tipo de proyectos son prácticamente inviables. Teniendo en cuenta que en la zona las caídas son nulas, se puede revisar la posibilidad de implementar proyectos con pequeñas turbinas cabeza cero, las cuales utilizan como fuente primaria la energía cinética del agua que requieren velocidades de mínimo 1.5 a 1.8 m/s (valores del fabricante mundial de turbinas Smart Hydro Power). En el río Inírida, el flujo del agua es de muy baja velocidad, lo que impide identificar el sentido del flujo del agua.

Para tener claridad de los potenciales energéticos y evitar sobredimensionar o viabilizar proyectos sin recursos primarios, se consultaron las estaciones hidrológicas de los principales ríos del país del IDEAM, solo se encontraron estaciones que distan de la cabecera municipal y presentan cambios notorios en las temporadas de invierno y verano, lo que genera diferencias del río entre 15 y 10 metros de profundidad.

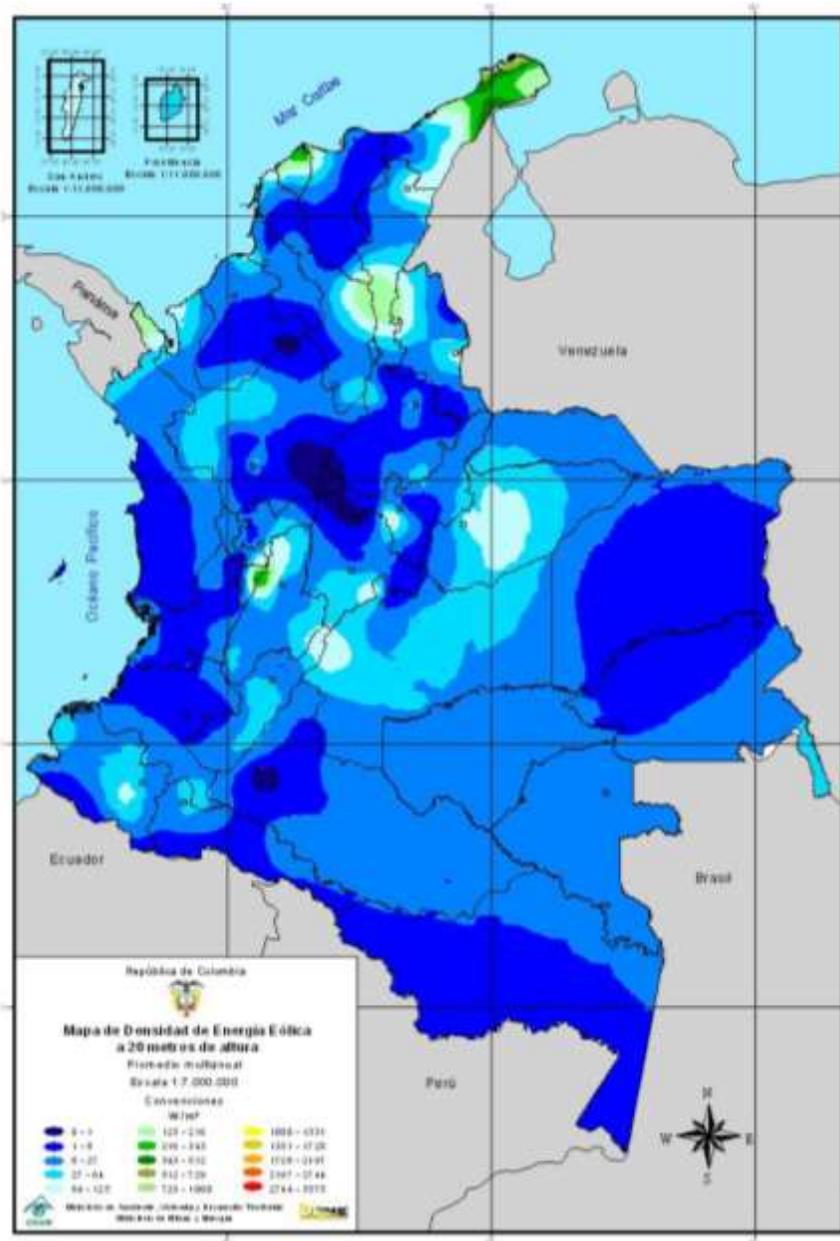
Con el fin de contar con información real medida en sitio, GENSA S.A ESP realizó medida en diferentes puntos cercanos a la cabecera municipal y encontró velocidades de río de mínimo 0,1 m/s a 0,5 m/s máximo (medición velocidad del río Inírida con el equipo Global Water). Estos valores son muy bajos, por lo que los proyectos con turbinas que su fuente primaria de energía es la energía cinética del agua no son viables.

Soluciones Eólicas

De acuerdo con el Atlas de viento y Energía Eólica de Colombia (IDEAM y UPME, 2006), se presentan velocidades del viento medidos a 10 metros de altura, para el municipio de Inírida de 0,5 m/s hasta 2 m/s y para el municipio de Mitú de 0,5 m/s hasta 2,5 m/s, obteniendo un promedio en el año de aproximadamente 1,5 m/s y 2,0 m/s respectivamente. Con base en los estudios del Atlas de viento y de la UPME, los vientos que presenten intensidad iguales o superiores a 5 m/s, son una buena alternativa para la implementación de proyectos de generación con este tipo de recurso natural, por lo que en los municipios de Inírida y Mitú este tipo de proyectos no son viables.

En la zona de Colombia en la cual se presentan vientos iguales o superiores a 5 m/s y alcanza un máximo de 11 m/s, es en la Guajira.

Figura 14. Atlas de viento y energía eólica en Colombia promedio multianual



Fuente: IDEAM - UPME (IDEAM y UPME, 2006)

Tabla 8. Comparativo Tecnologías

Tecnología	Ventajas	Desventajas
Solar Fotovoltaica sin acumulación	Tecnología limpia, modular y sostenible técnica y económicamente.	<p>Al provenir el recurso energético de una fuente no gestionable: SOL, no se garantiza confiabilidad alta.</p> <p>En Inírida la granja solar es una planta con una capacidad inferior a la demanda, que permite garantizar estabilidad y reserva rodante diésel, no es posible técnicamente ampliar esta planta porque se pondría en riesgo la prestación del servicio.</p> <p>En Mitú los análisis realizados indican que requieren de una reserva rodante diésel, dado las dificultades que se presentan con las redes de distribución, lo que en caso de un corto en las redes el sistema solar no es capaz de asumir la falla, como sucede con las unidades diésel.</p>
Solar fotovoltaica con acumulación	Tecnología limpia, modular, permite almacenar energía para ser utilizada en horarios nocturnos o con bajo nivel de radiación solar.	<p>Garantiza confiabilidad al permitir regular la energía que se entrega gracias al almacenamiento.</p> <p>En Inírida se han realizado modelaciones iniciales concluyendo que se requeriría un nivel de inversión importante, cuyo costo</p>

		<p>nivelado de energía comparado con diésel es incluso superior.</p> <p>En Mitú se han realizado modelaciones concluyendo que por el alto costo de combustible (siendo uno de los más altos en las ZNI), es muy viable, puesto que disminuye los costos de operación y mantenimiento.</p>
Eólico	Tecnología limpia, modular y sostenible técnica y económicamente.	Se requiere un mínimo de velocidad de viento para viabilizar un proyecto que no se alcanza a tener en Inírida y Mitú.
Soluciones hidráulicas	Tecnología limpia, modular y sostenible técnica y económicamente.	<p>Dado la topografía del Guainía, es decir se cuenta con cuencas muy anchas, no se encuentra viabilidad de embalse, en caso de encontrar caídas de agua importantes, estas se ubicarían muy lejanas al caso urbano lo que implicaría intervenir grandes extensiones de selva virgen. La otra alternativa, consistente en turbinas de cabeza cero requieren un mínimo de velocidad de agua lo cual no se ha encontrado en los ríos Inírida y Guaviare cercanos al municipio.</p> <p>En Mitú a la fecha se cuenta con una PCH, lo que permite tener una generación híbrida (diésel- hidráulica), dada las</p>

		condiciones del nivel del río en donde se encuentra la PCH, en donde en aproximadamente en 4 meses del año es muy bajo y no permite generar con las 4 unidades, se debe tener respaldo con las unidades diésel u otra fuente de generación. De igual manera de acuerdo a la proyección inicial de construcción de la PCH, se contempló la instalación a futuro de una quinta unidad, con el fin de que permitiera suplir toda la demanda del municipio.
Diesel	Es una fuente que no depende de recursos no gestionables como agua o sol, se requiere poco espacio para su instalación e inversión inicial baja.	Fuente de generación convencional a base de combustibles fósiles contaminantes, altos costos de operación y niveles de confiabilidad medios dado el nivel de fallas y grandes esfuerzos logísticos para el suministro de combustible.
Biomasa - siembra	Fuente no convencional y limpia de energía, costos competitivos con diésel y nivel de confiabilidad aceptables cuando se garantiza suministro continuo	Se requieren grandes extensiones de tierra para desarrollar un proyecto, en Inírida y Mitú particularmente gran parte de los terrenos pertenecen a resguardos indígenas, baldíos sin titularidad lo que compromete la estabilidad jurídica de siembras. Se requiere una multiplicidad de gestiones sociales, ambientales y regulatorios en el desarrollo de este tipo de proyectos.

RSU	Fuente no convencional y limpia de energía, sostenible técnicamente y costos competitivos con diésel.	Se requieren grandes cantidades de materia orgánica para viabilizar un proyecto, en Inírida se encontró potencial energético para suplir máximo un 3% de la demanda de energía. En Mitú, se encuentra en análisis de viabilidad.
-----	---	---

Fuente: Elaboración propia con información suministrada por GENSA S.A ESP

De acuerdo a las características de los recursos energéticos analizados, se considera viable para el municipio de Inírida, diversificar la matriz energética con tecnología solar fotovoltaica.

Después de analizar los recursos para el municipio de Mitú, a pesar de contar con una generación híbrida (diésel – PCH), es viable diversificar la matriz energética con tecnología solar fotovoltaica con acumulación (baterías). El uso de las baterías permite aumentar los paneles, disminuir el consumo de ACPM y de paso reducir los costos de operación significativamente, por tanto es la opción menos costosa que la generación con unidades diésel, esto debido al alto costo de la generación con combustible, lo que impacta positivamente al ambiente con disminución de CO₂, a la comunidad con la disminución del ruido y de los costos de operación, los cuales se ven reflejados en el precio de kWh (\$/kWh).

10.4 PERSPECTIVAS Y OPORTUNIDADES PARA LA INTEGRACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

A lo largo de los años, el sector eléctrico en Colombia, ha evolucionado positivamente. En 1946 nace el Instituto de Aprovechamiento de Aguas y Fomento Eléctrico, en 1974 se le asignó al Ministerio de Minas y Energía la responsabilidad de estructurar políticas nacionales en materia de electricidad en el país, de la mano con el Instituto de Planificación

y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas no Interconectadas (IPSE), cuyo principal objetivo es identificar, fomentar, promover, desarrollar e implementar soluciones energéticas en Colombia mediante esquemas eficientes y viables financieramente, de igual manera sostenibles en un largo plazo en las ZNI .

En 1994 con la estructuración y promulgación de las leyes 142 y 143 se concibió el desarrollo de la cobertura y calidad de los servicios públicos domiciliarios de energía en el SIN y la existencia de las ZNI. (IPSE, 2017). De igual manera son importantes la Ley 689 de 2001 y la Ley 1215 de 2008, las cuales regulan la cogeneración.

Las ZNI en su mayoría son zonas que presentaron o presentan problemas de orden público, el Gobierno Nacional, en el marco del Acuerdo de Paz, mediante el Decreto 884 de 2017 determina la implementación del Plan Nacional de Electrificación Rural y teniendo en cuenta la voluntad de regulación e implementación de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional expresada en la Ley 1715 de 2014, se vislumbra un panorama favorable para este tipo de proyectos. (Ministerio de Minas y Energía, 2017).

La ley arriba citada, busca promover la gestión eficiente de la energía, tanto la eficiencia energética como la respuesta de la demanda, mediante, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, su participación en las ZNI, la integración al mercado eléctrico, y en otros usos energéticos como medio necesario para el desarrollo económico sostenible y la seguridad del abastecimiento energético del país.

Los mecanismos de promoción de la generación distribuida y la microgeneración en Colombia contemplados en la Ley 1715 (Gobierno Nacional, 2014) son:

- a) Entrega de excedentes a la red de distribución y/o transporte orientado a Microgeneradores.
- b) Programas de divulgación masiva sobre microgeneración de pequeña escala orientada a público en general y microgeneradores de pequeña escala.
- c) Programa de divulgación focalizada orientada a microgeneradores a pequeña escala

- d) Sistemas de medición bidireccional y mecanismos simplificados de conexión y entrega de excedentes orientada a microgeneradores de pequeña escala.
- e) Venta de energía orientada a Generadores distribuidos.
- f) Venta de créditos de energía orientada a microgeneradores.

Algunos de los puntos estratégicos de la ley ya han sido reglamentados, destacando: Incentivos tributarios a las fuentes de energía renovables de naturaleza no convencional y eficiencia energética, autogeneración a pequeña escala y energía en firme para plantas solares. (Gobierno Nacional, 2014).

Tabla 9. Normatividad que aplica a la Ley 1715 de 2014

NORMA	DESCRIPCIÓN
RESOLUCIÓN MINAMBIENTE 1283 DE 8 AGOSTO DE 2016	Por la cual se establece el procedimiento y requisitos para la expedición de la certificación de beneficio ambiental por nuevas inversiones en proyectos de fuentes no convencionales de energías renovables - FNCER y gestión eficiente de la energía, para obtener los beneficios tributarios de que tratan los artículos 11, 12, 13 y 14 de la Ley 1715 de 2014 y se adoptan otras determinaciones.
DECRETO 2143 DE 2015 DEL MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA	Por el cual se adiciona el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía, 1073 de 2015, en lo relacionado con la definición de los lineamientos para la aplicación de los incentivos establecidos en el Capítulo III de la Ley 1715 de 2014.
RESOLUCIÓN UPME 0281 DE 2015	Por la cual se define el límite máximo de potencia de la autogeneración a pequeña escala"

RESOLUCIÓN CREG 024 DE 2015	Por la cual se regula la actividad de autogeneración a gran escala en el SIN
DECRETO 1623 DE 2015 DEL MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA	Por el cual se modifica y adiciona el Decreto 1073 de 2015, en lo que respecta al establecimiento de los lineamientos de política para la expansión de la cobertura del servicio de energía eléctrica en el SIN y en las ZNI
DECRETO 2492 DE 2014 DEL MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA	Por el cual se adoptan disposiciones en materia de implementación de mecanismos de respuesta de la demanda
DECRETO 2469 DE 2014 DEL MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA	Por el cual se establecen los lineamientos de política energética en materia de entrega de excedentes de autogeneración
RESOLUCIÓN CREG NO.243-2016	Por la cual se define la metodología para determinar la energía firme para el Cargo por Confiabilidad, ENFICC, de plantas solares fotovoltaicas
RESOLUCIÓN MINAMBIENTE 1312 DE 11 AGOSTO DE 2016	Por la cual se adoptan los términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental – EIA, requerido para el trámite de la licencia ambiental de proyectos de uso de fuentes de energía eólica continental y se toman otras determinaciones
LEY 1955 DE 25 DE MAYO DE 2019	Por el cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2018 – 2022. "Pacto por Colombia, pacto por equidad". El artículo 174 modifica el artículo 11 de la Ley 1715 de 2014.
	Por la cual se establecen el procedimiento y los requisitos para obtener la certificación que avala los proyectos de Fuentes No Convencionales de Energía (FNCE), con

RESOLUCIÓN UPME 703 DEL 14 DE DICIEMBRE DE 2018	miras a obtener el beneficio de la exclusión del IVA y la exención de gravamen arancelario de que tratan los artículos 12 y 13 de la Ley 1715 de 2014, y se adoptan otras disposiciones.
---	--

Fuente: Elaboración propia con normatividad Gubernamental

A continuación, se listan algunos de los estímulos tributarios (IPSE, 2017) creados a través de la Ley 1715 de 2014, que aplican exclusivamente a proyectos con FNCE

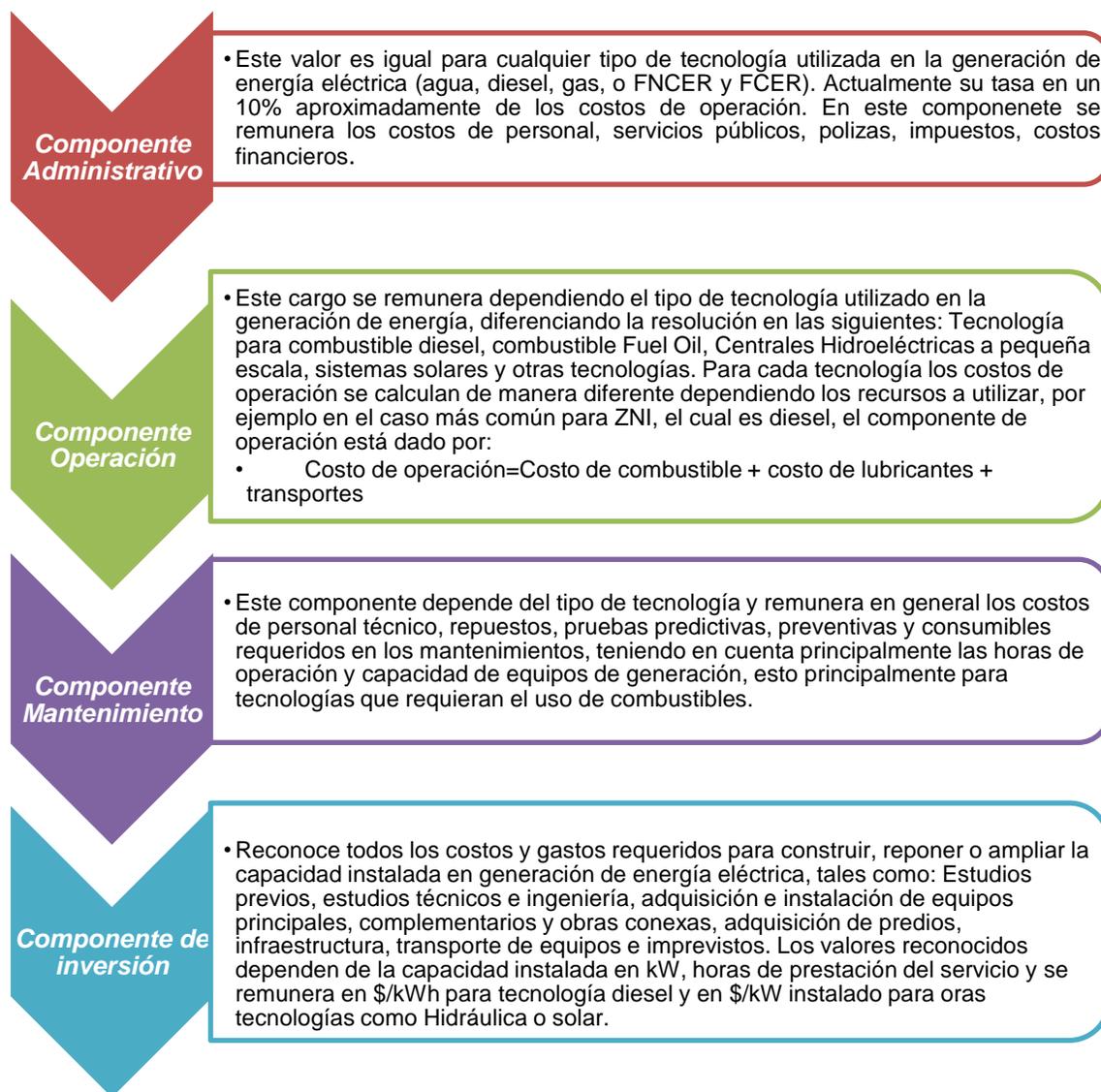
- La tasa de depreciación anual para maquinas, equipos y obras civiles no será mayor al 20%
- Exención de aranceles de importación de maquinaria, equipos, materias e insumos para este fin.
- Exención de IVA para maquinaria, equipos, materias, elementos y servicios nacionales o importados que se destinen para este tipo de proyectos.
- Hasta un 50% del valor total de la inversión realizada será deducible de su renta en años.
- Prórroga de la vigencia de FAZNI hasta el 31 de diciembre de 2021

El Gobierno Nacional, con el fin de garantizar la cobertura y la continuidad de la prestación del servicio en el territorio Nacional, ha establecido una serie de mecanismos principalmente financieros, el más importante es el mecanismo de subsidios con el cual garantiza a los usuarios de las ZNI tengan las mismas tarifas de energía que los usuarios del SIN, esto justificado por los altos costos de generación de energía, que se basan principalmente en el alto costo del transporte de combustible, consumibles, lubricantes, repuestos y demás elementos que se requiere para garantizar la prestación del servicio, conllevan a que el kWh en estas zonas sea tres veces o más costoso que el kWh en el SIN.

La tarifa para establecer el costo unitario de prestación del servicio público de energía eléctrica en las ZNI se enmarca en un esquema establecido por la CREG, organismo que

define la metodología y las fórmulas con las cuales se remuneraran las actividades de generación, distribución y comercialización. Actualmente las tarifas se calculan con base en la Resolución CREG 091 de 2007, la cual contiene la metodología para remunerar las actividades de generación, distribución y comercialización de energía eléctrica, y la fórmula tarifaria general para determinar el costo unitario de prestación del servicio público domiciliario de energía eléctrica.

Tabla 10. Características Resolución CREG 091-2017

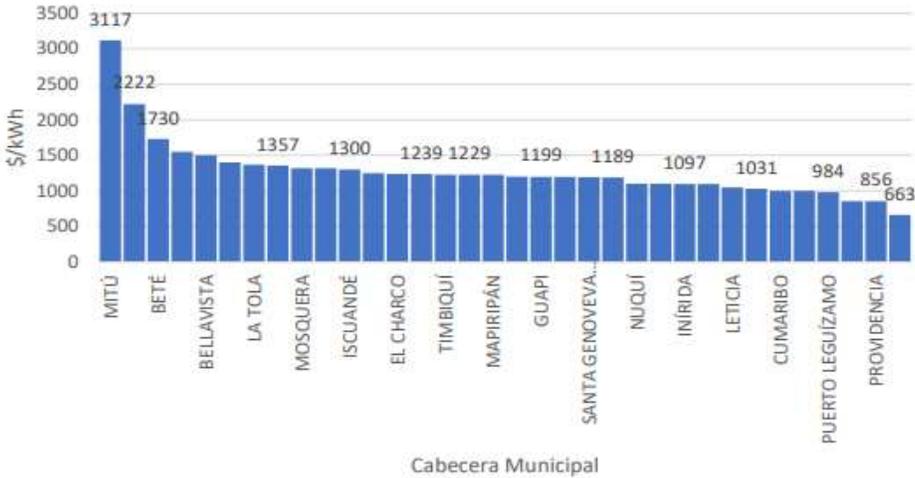


Fuente: Elaboración propia con información Resolución CREG 091- 2017

De la sumatoria de los componentes antes mencionados, se obtiene el cargo máximo de generación reconocido a los agentes generadores que son remunerados bajo esta metodología y no bajo el esquema de “Costos Reales”, permitiendo garantizar a los diferentes generadores de energía de las ZNI, los recursos necesarios para darle continuidad, calidad y confiabilidad en la generación.

En la figura No. 15 se puede evidenciar el comportamiento del costo unitario de prestación del servicio de energía en algunas localidades de las ZNI, teniendo de esta manera que el costo de kWh se presenta en el municipio de Mitú con un valor de 3.117 \$/kWh, esto debido a lo que hemos expresado en diferentes oportunidades, por las condiciones de acceso, lo que hace que el transporte del combustible, herramientas, repuestos, consumibles y demás, eleven el costo de generación, de igual manera por el tipo de contrato que tiene el MME con el generador de energía, le permite trasladar los costos reales de Administración, Operación y Mantenimiento en que incurre el generador.

Figura 15. Costo unitario de kWh en algunas localidades de las ZNI



Fuente: Centro Nacional de Monitoreo (CNM – IPSE)

El artículo 2° de la Ley 1117 de 2006 modificó el artículo 99 de la Ley 142 de 1994 en materia de subsidios en el sector eléctrico para las ZNI, dándole al MME la facultad de otorgar subsidios a los usuarios en las condiciones y porcentajes que defina, considerando la capacidad de pago de los usuarios en estas zonas. En ejercicio de esta función, el MME

expidió la Resolución 182138 de 2007, la cual determina los procedimientos aplicables para otorgar subsidios en las ZNI y establece que los subsidios pueden cubrir los costos administrativos, operativos y de mantenimiento de las empresas. (Ministerio de Minas y Energía, 2017). Frente al consumo subsidiable en las comunidades de menos de 300 usuarios, la resolución en mención establece lo señalado en la siguiente tabla.

Tabla 11. Características de las localidades ZNI

NÚMERO DE USUARIOS	SUBSIDIO
Entre 0 a 50 usuarios:	4 horas/día o 33,6 kWh/mes
Entre 51 a 150 usuarios	5 horas/día o 45,0 kWh/mes
Entre 151 a 300 usuarios	8 horas/día o 76,8 kWh/mes

Fuente: Resolución MME-182138 de 2007

Por su parte para el SIN, actualmente según la Resolución UPME-355 de 2004, el CBS es de 173 kWh/mes para alturas inferiores a 1.000 sobre el nivel del mar y de 130 kWh/mes para alturas superiores.

Esta metodología de remuneración ha permitido garantizar a los agentes generadores en ZNI los recursos necesarios para darle continuidad, confiabilidad y calidad en la generación de energía eléctrica, sin embargo esta normatividad no incentiva la generación con otras fuentes de generación pues los valores a remunerar en generación diésel son atractivos, adicionalmente la resolución se queda corta en algunas escalas y parámetros técnicos para otro tipo de tecnologías, limitando su implementación pues se tienen vacíos regulatorios para su implementación.

La nueva propuesta de regulación, de materializarse, recoge la mayor parte de objetivos y metas que se ha planteado el Gobierno Nacional a través de sus planes y programas en materia de energías limpias; esto dado que el gran objetivo de la propuesta de resolución CREG 004-2014 (“*Metodología para remunerar las actividades de generación, distribución y comercialización de energía eléctrica en zonas no interconectadas*”) es incentivar la implementación de fuentes de generación renovables convencionales y no

convencionales en la canasta energética de las ZNI, garantizando con los cargos propuestos, la sostenibilidad de la infraestructura.

Desde el punto de vista de sostenibilidad y eficiencia los cargos de remuneración propuestos, los ingresos por materia de inversión y operación, garantizarían el cierre financiero de muchos proyectos que se encuentran viabilizados; lo anterior es positivo de llegarse aplicar esta nueva propuesta de regulación, que en términos generales plantea como reto, el reemplazo de tecnologías de generación costosas y ambientalmente negativas como el diésel por cualquier otra fuente que garantice la continuidad, confiabilidad, con menos impactos ambientales y calidad en la generación de energía.

Para la generación con nuevas fuentes de energía (FNCE), se reconoce el mismo costo por unidad de energía en kWh como para el combustible diésel, el cual se usa como referencia, por ser en consecuencia, el energético más costoso para ZNI. Así las cosas, el Gobierno Nacional tiene un gran reto, puesto que en esta propuesta trae consigo el incremento de los subsidios que se deben aportar a los generadores de energía en las ZNI, permitiendo de esta manera ampliar la capacidad instalada e incrementar las inversiones.

Otro mecanismo implementado por el Gobierno Nacional ha sido la implementación de sistemas energéticos con base en energías renovables, a través de diferentes fuentes de financiación, tales como recursos propios de IPSE, UPME, FAZNI, FENOGE, SGR (antes Fondo Nacional de Regalías -FNR-), Ministerio de Relaciones Exteriores (“MRE”); Organizaciones No Gubernamentales -ONG-, ASE y Cooperación Internacional, son muy pocos los casos conocidos con esquemas de sostenibilidad comprobada. En el periodo de 2007 a 2018 en proyectos con recursos FAZNI, se han ejecutado 37 proyectos en FNCER en las ZNI, entre los que predominan los sistemas fotovoltaicos individuales.

De acuerdo al Plan Nacional de Desarrollo 2018 – 2022, el Gobierno Nacional es consciente que con la evolución del mercado, la modernización del país y el crecimiento de la economía se debe contar con entornos regulatorios más dinámicos que no solo anticipen y mitiguen riesgos, sino que respondan con prontitud y contundencia ante las circunstancias que amenacen la continuidad de la prestación del servicio de energía, lo que permite brindar apoyo para la estructuración de proyectos a ser financiados con recursos públicos e

impactar positivamente a las ZNI y de esta manera diversificar la canasta energética del país.

Así mismo, en el Plan de Expansión de Referencia 2014-2028, de acuerdo con el potencial para el desarrollo de FNCE, la UPME contempla la posibilidad de la instalación de hasta 1.370 MW de energía eólica, 122 MW de cogeneración a partir de caña, 558 MW de cogeneración a partir de palma, 750 MW provenientes de plantas geotérmicas y finalmente, 448 MW de energía solar. Con el fin de reorientar las estrategias que rigen los proyectos de energización rural y solucionar los problemas de sostenibilidad que sufren estos proyectos, la UPME ha elaborado una metodología denominada Planes de Energización Rural Sostenible (PERS). Esta nueva metodología va más allá del concepto de electrificación puesto que para que los proyectos sean sostenibles en estas zonas, además de identificar la alternativa energética más eficiente, también es preciso que se contemple un proyecto de desarrollo económico y social paralelo.

Por medio de la SSPD, el Gobierno Nacional realiza seguimiento a los costos de generación, calidad en la prestación de los servicios públicos, pero con el fin de continuar con el cierre de brechas en cobertura de energéticos y contribuir al desarrollo de los territorios con una visión energética integral de los recursos y la sostenibilidad en el largo plazo de la prestación del servicio, el MME ha venido trabajando en la determinación y estandarización de los rangos de prestación del servicio de acuerdo con las condiciones de la población (particularidades de territorios indígenas, las comunidades afrocolombianas, las zonas de estabilización, entre otras), el número de beneficiarios y la capacidad instalada que requiere para suplir de forma sostenible la demanda de energía.

De igual manera el MME ha promovido el desarrollo de nuevos mecanismos para la ampliación de cobertura con FNCER, para lograr aumentar la capacidad de generación de 22,4 MW a 1.500 MW teniendo ajustes en la normatividad existente y buscando incluir modelos de prestación de servicio como esquemas empresariales energéticos, áreas de servicios exclusivos energéticas y esquemas APP. Aunque en muchas localidades de las ZNI por los altos costos de Administración, Operación y Mantenimiento, no ha sido posible implementar dichos esquemas, como Mitú e Inírida, hay otras localidades como el área de

servicios exclusivos de San Andrés y Leticia, se logró la participación de un privado en la prestación del servicio.

11 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

11.1 CARACTERIZAR LOS SISTEMAS PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN LOS CASOS DE ESTUDIO EN ZONAS NO INTERCONECTADAS

La investigación refleja que los SSF instalados en las ZNI en su mayoría son soluciones individuales, la generación de energía a gran escala con FNCE se implementó en Inírida con la GSI, siendo la primera y la más grande planta solar de las ZNI. Las investigaciones realizadas determinan que para las ZNI la energía eléctrica generada proviene de interconexión con países vecinos, plantas de generación diésel, fuentes de energías renovables (hidroeléctricas, sistemas fotovoltaicos, aerogeneradores).

Con el fin de diversificar la canasta energética del país e impactar de manera positiva a la población de las ZNI, durante el 2019, se implementaron soluciones individuales de energía con FNCE, beneficiando a 5.184 usuarios del servicio eléctrica, en 14 departamentos y 20 municipios (Ministerio de Minas y Energía, 2020).

Esta investigación caracterizó los sistemas instalados en Inírida y Mitú, lo que refleja que la energía solar fotovoltaica tiene mayor relevancia en las ZNI, sobre todo con soluciones individuales que ha permitido incrementar la cobertura a viviendas o comunidades que no contaban con la prestación del servicio, lo que aporta al desarrollo de las regiones y a mejorar la calidad de vida. Así mismo permite documentar y dar a conocer información relevante que las empresas que generan energía en estas zonas tienen; información útil para la implementación de nuevos proyectos.

La caracterización de los sistemas de generación solar fotovoltaicos da a conocer las características técnicas, económicas, ambientales, sociales y de confiabilidad, lo que permite que los casos de estudio sean fuente de información para otras investigaciones y/o ejecución de proyectos.

En el desarrollo de la investigación se consultaron diferentes autores que trataron aspectos ambientales, en donde el tema central tratado es la comparación de emisiones CO₂, entre los sistemas tradicionales que en su mayoría son diésel y las energías renovables dentro de

las cuales están solar, eólica y biomasa teniendo que la principal unidad de medida manejada por los autores para las emisiones serán los kilogramos por año (kg/año).

De esta manera, en el estudio (Samy, Barakat, Eteiba, & Wahba, 2016) se analizaron los gases que provocan el efecto invernadero (Cox, SO_x, NO_x) que en realidad son material particulado e hidrocarburos sin quemar. Otros autores consultados calculan las emisiones de CO₂ usando estimaciones del software HOMER®, algunos otros autores toman datos de referencia de estudios realizados, como el caso de M Ismail & otros (2013); de ahí la importancia de acompañar los estudios de factibilidad y el papel preponderante que tienen los estudios de la demanda de energía con los softwares como HOMER® para estos análisis.

Desde las características ambientales de los sistemas, hay varios aspectos claves revelados por los resultados de la investigación; en donde se encuentra que la implementación de este tipo de tecnología para generación a gran escala, disminuye la emisión a la atmósfera de CO₂, lo que mejora la calidad del aire en la zona; de igual manera no se generará ningún tipo de efecto adverso como ruido o contaminación.

Otro aspecto relevante y positivo, es la característica social, se trata de los empleos que se generaron en la construcción de la GSI; así las cosas, la energía solar fotovoltaica juega un papel preponderante en la diversificación de la canasta energética en las ZNI, aporta al desarrollo sostenible de la zona, a la conservación ambiental, por la disminución de emisiones atmosféricas.

El caso de estudio de la GSI arrojó que, se dejó de emitir a la atmósfera casi 3.000 Ton CO₂ (toneladas de dióxido de carbono) al año que produce la generación con diésel; y tuvo un ahorro de 290.000 galones de combustible diésel al año.

Así las cosas, se logra destacar que la energía con FNCER es determinante en el desarrollo sostenible de las ZNI, debido a que logra impactar positivamente con la disminución de CO₂, se presenta crecimiento económico, porque se incrementa la dinámica económica en los municipios tan apartados del SIN, se disminuye en los costos de generación y se mejora las condiciones de vida de los hogares.

En el aspecto económico, el retorno de la inversión de los casos de estudio en específico de la GSI, se logra en 10 años, lo que significa que la tecnología es altamente beneficiosa frente a los altos costos de los combustibles fósiles o a los costos de proyectos de interconexión, permitiendo el cierre financiero del proyecto. Así mismo, la construcción de la GSI contó con un inversionista que obtuvo los beneficios tributarios otorgados por el Gobierno Nacional, lo que permitió obtener beneficios económicos que contribuyeron al cierre financiero, viabilizando el proyecto.

11.2 CONDICIONES QUE CONTRIBUYEN CON LA FACTIBILIDAD DE PROYECTOS DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN ZONAS NO INTERCONECTADAS

Se encuentran varios autores consultados, que analizan el comportamiento energético de SSFV en términos de potencia entregada, teniendo en cuenta aspectos como la demanda de la región, la cual está directamente relacionada con el crecimiento poblacional; en ciertas regiones del país como Caldas, la Guajira (UPME, 2015), entre otras, permitiendo una amplia visión en la estructuración de estos proyectos basada también en la potencia demandada por la comunidad.

Para el caso de las ZNI en Colombia los autores M Ferreira & Otros (2013), presentan la proyección de la demanda del islote Santa Cruz, dentro de este estudio encuentra varias características existentes en las ZNI como carencia de información detallada que pueda determinar el crecimiento del consumo energético de forma confiable, pocas horas de prestación de servicio de energía, dada la infraestructura energética deficiente o los altos costos de transporte del combustible, lo que afecta directamente las actividades económicas de la población.

Así mismo, paralelo a las características energéticas de las ZNI, el estudio de la demanda debe comprender la demanda total que se debe suplir, crecimiento de la demanda, recursos energéticos, cuadro de cargas y el balance energético entre oferta y demanda. De igual manera se encuentra una proyección de la demanda de energía por cinco años (2013 -2018), a través de una herramienta de modelamiento lineal LEAP (Long Range Energy Alternatives Plannug System). Este software permite simular la matriz energética de un

escenario muestral enfocándose detalladamente en las características, del lado de la oferta (especificaciones de equipos de generación), y del lado de la demanda (censos de carga, factores demanda, energía consumida de equipos eléctricos en unidades residenciales o centros de consumo).

En el caso de estudio de la GSI, fue un punto de partida en análisis de la demanda, lo que permitió caracterizar y establecer la línea base de consumo, que sirvió de insumo para realizar el estudio de la oferta energética disponible para suplir la demanda identificada, de esta manera se pudo identificar la oferta energética disponible para suplir la demanda, y desarrollar el proyecto buscando las mejores alternativas con niveles adecuados de confiabilidad, lo que viabilizó la construcción de la GSI, y aporta entre el 10% y 30% de la demanda de energía durante el día.

Entre los aspectos analizados, el aspecto económico tiene un orden importante entre los autores consultados, encontrando que el Valor Presente Neto del proyecto (VPN), el costo de la energía generada y el costo del ciclo de vida del sistema (LCC), son los de mayor importancia y más analizados en los diferentes estudios.

En los casos de estudio para los municipios de Inírida y Mitú, se encontraron ventajas económicas con la implementación de la GSI y el SSFV para los servicios auxiliares en Mitú, puesto que los costos de generación disminuyen lo que se ve reflejado en menores aportes a través de subsidios por menores tarifas que debe aportar el MME para la generación, que para estas zonas a pesar de ser híbrido la mayoría de la demanda es suplida por unidades generadores diésel.

De acuerdo con H Kazán & Otros (2014) el costo de ciclo de vida (LCC), de un sistema solar FV incluye los paneles, la estructura de soporte, el inversor, el cableado, costos de adecuación del terreno de instalación, diseño del sistema, mano de obra de instalación, equipos requeridos para ello, permisos y costos de operación y mantenimiento.

En la investigación se encontró que gracias a la ubicación geográfica de los municipios de Inírida y Mitú, se implementaron sistemas híbridos, teniendo en cuenta que el país cuenta con un promedio de irradiación solar de 4,5 kWh/m²/d, cifra que supera significativamente

al promedio mundial estimado en 3,9 kWh/m²/d, fue viable llevar a cabo proyectos híbridos diésel – sistema solar (con o sin acumulación) y diésel – PCH – sistema solar fotovoltaico, a pesar de que en varias épocas del año se incrementan las lluvias, la radiación solar es alta; lo que significa que en los municipios de los casos de estudio, cuentan con un potencial positivo de energía solar.

La energía solar ha demostrado ser una fuente limpia, versátil y funcional, sin embargo, es muy inestable dado que depende de un recurso no gestionable, el sol. De allí la importancia de contar con fuentes de generación de respaldo que garanticen confiabilidad. El papel de la Central Diésel en Inírida, luego de ser la principal fuente de generación de energía por varios años, es apoyar a la Granja Solar cuando se tienen variaciones climáticas que limitan su producción.

De igual manera en los casos de estudios y en los autores analizados, la implementación de sistemas solares fotovoltaicos debe contar con un respaldo en la generación, de ahí la importancia de que se implementen sistemas híbridos o con acumulación, que permita suplir la demanda de energía en los casos en los que los SSFV se vean afectados por variables como temperatura, clima entre otras. Por lo que es muy importante evolucionar sobre todo en el almacenamiento energético y cerrar la brecha entre la innovación tecnológica y los costos.

Se analizaron varios autores (Ajlan, Tan, & Abdilahi, 2017), (Akella, Saini, & Sharma, 2009), (Lindsay & Moncef, 2013), (Carter & Shafiullah, 2015), (Said & Ahmed, 2014), (Ramchandran, Pai, & Parihar, 2016), (Andrade Baquero, 2020), (Avella E., Haghghat M., Shirazi, & Rinaldi, 2016), (Ghiani, Vertuccio, & Pilo, 2016), (Asrari, Zarif, Ghasemi, & Abdelwahed, 2013), los cuales en sus investigaciones analizan las combinaciones entre las fuentes de energía más eficientes para zonas específicas usando software de optimización.

Los autores consultados, en su mayoría y de acuerdo al orden de las publicaciones las cuales son relativas en el tiempo, obtuvieron resultados en sistemas híbridos con las combinaciones entre: energía solar fotovoltaica – Eólica y diésel (publicaciones entre 2016 - 2017) con un 25%, solar fotovoltaica y diésel (publicaciones entre 2013 -2016) con un 34%, solar fotovoltaica – bioenergía (publicaciones 2016) con un 17%, solar fotovoltaica –

Eólica – bioenergía con un 8%, Eólica – diésel con un 8% y solar fotovoltaica – Eólica 8% (publicaciones entre el 2012 y 2013). Así las cosas, dentro de los análisis realizados por los autores consultados, los sistemas híbridos que son más implementados por la eficiencia y confiabilidad del sistema son energía solar fotovoltaica - diésel.

Dentro de otros estudios para zonas apartadas del país, en donde no se cuenta con el servicio de energía por las condiciones topográficas de la zona, se analizaron autores que trataban el tema de microgeneración fotovoltaica, entendiéndose como aquella fuente de generación a pequeña escala que usa la energía solar fotovoltaica para suplir la demanda de energía.

Para Colombia se analizaron autores que planteaban la autogeneración en el sector residencial con energía solar fotovoltaica, M Jiménez Z (2016) tasa el efecto que tendría el concentrar hogares generadores al SIN y en (Cadavid, Jiménez, & Franco, 2014) desarrollan un modelo financiero de diferentes configuraciones para la generación con energía solar fotovoltaica en los hogares colombianos. Dicho modelo considera el costo de reemplazo de baterías, la inversión inicial, la tasa de descuento (beneficios tributarios), la pérdida de eficiencia del sistema fotovoltaico, entre otras variables, con el fin de determinar la viabilidad de la inversión en energía solar.

En otros estudios realizados los autores (Khatib, Muhsen, & Haider, 2017) plantean el uso de un sistema híbrido de energía solar fotovoltaico con acumulación (baterías) y diésel, de igual manera tratan el tema de la microgeneración con soluciones solares fotovoltaicas, en (Kazem, Khatib, Sopian, & Elmenreich, 2014) presentan el rendimiento de un sistema solar fotovoltaico instalado en el techo de una zona desértica en Oriente Medio

De acuerdo con la investigación realizada se analizaron varios autores, los cuales abordaron de manera muy general el tema de la generación de energía con FNCER en las ZNI, encontrando muchos estudios para zonas rurales.

Se analizó el caso del Departamento de Caquetá (Andrade Baquero, 2020) que caracteriza la utilización y proyecciones de SSF para la integración de estos sistemas en el Departamento de Caquetá, lo que arrojó resultados cuantitativos, útiles para actores locales

y nacionales; ayudando a la implementación de proyectos en las zonas que difícilmente se podrían conectar con el SIN; se contribuye así, con el desarrollo rural de las zonas (Avella E., Haghghat M., Shirazi, & Rinaldi, 2016). Los autores para tres municipios, Puerto Estrella en la Guajira, Unguia (Titimate) en Choco y Jericó (Rural) en Boyacá, desarrollan un análisis de diferentes combinaciones entre energía solar FV, energía eólica y generación diésel buscando los porcentajes óptimos de cada una de estas fuentes para los diferentes sitios.

Con la puesta en marcha de La GSI y los paneles solares para los servicios auxiliares de Mitú, GENSA S.A ESP comenzó a materializar el objetivo estratégico que se ha propuesto para las zonas no interconectadas: Ampliar y diversificar la canasta energética con fuentes de energía renovables.

Así mismo, analizó la viabilidad y factibilidad de las diferentes fuentes que pueden ser implementadas en las zonas en donde generan energía, llegando a la conclusión que por la zona en donde están ubicadas las localidades analizadas y por los costos de generación, son viables los proyectos híbridos, toda vez que para tener una prestación del servicio estable debe contar con una reserva rodante, que permita suplir variaciones en la generación con FNCER.

11.3 PERSPECTIVAS Y OPORTUNIDADES PARA LA INTEGRACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

Colombia cuenta con extensa legislación en términos de protección del medio ambiente y el desarrollo sostenible que emanan de la Constitución Política, en especial la Constitución de 1991 que establece como un derecho de la ciudadanía a gozar de un ambiente sano y determina que el Estado tiene el deber de planificar el desarrollo sostenible del territorio nacional.

En esta investigación se refleja que la política pública y la regulación de la gestión de los programas de energización en las ZNI está definida en el Plan Nacional de Desarrollo (ley 1955 de 2019), la ley de renovables (ley 1715 de 2014), decreto 1623 de 2015, modificado

por el decreto 1513 de 2016, que determinan los lineamientos para expansión de coberturas tanto en el Sistema Interconectado SIN como en las ZNI.

En la siguiente tabla se refleja cómo el Gobierno Nacional, hace la planificación y los esquemas de gestión y fuentes de financiación que se requieren para la gestión de los proyectos en ZNI, a partir de la política pública y la regulación existente.

Tabla 12. Política pública y arreglos Institucionales para la gestión

POLÍTICA PÚBLICA	REGULACIÓN	PLANEACIÓN Y ESQUEMAS		FONDOS
Ley 1753 PND 2014-2018 META: 173.469 viviendas	Res. CREG 024-2016 Metodología para la remuneración Dt en el SIN	PIEC Estimación inversión de la universalización	Plan para el Posconflicto Estrategia de expansión de cobertura en áreas de posconflicto	FAER Fondo de Apoyo Financiero para Energización Rural del SIN
Ley 1715 Ley de Renovables	Res. CREG 004-2014 Fórmula tarifaria ZNI	PERS Estrategia de levantamiento de información rural	Plan Pazífico Estrategia para el desarrollo socioeconómico en la región Pacífico	FAZNI Fondo de Apoyo Financiero para las Zonas no Interconectadas
Decreto 1623 Lineamientos para expansión de cobertura en SIN y ZNI	Res. CREG 027-2014 Áreas de Servicio Exclusivo	PEN Estrategias para desarrollo futuro energético colombiano	Esquemas Empresariales Implementación de esquemas para la prestación del servicio en ZNI	SGR Sistema General de Regalías

Fuente: UPME, PIEC 2016-2020

Los principales actores intervinientes en la ejecución de la política es la comunidad que solicita el servicio de energía y sustenta la necesidad de este para el mejoramiento de sus condiciones de vida. Entre los actores institucionales, se destaca el MME, a través de la UPME como ente planificador y el IPSE como ente ejecutor. La UNGRD como Unidad Ejecutora del Fondo Todos Somos Pacifico. La SSPD, como ente de vigilancia y control de la prestación del servicio de energía. El MADS, como entidad rectora de la gestión del ambiente y de los recursos naturales renovables, encargada de orientar y regular el ordenamiento ambiental del territorio y de definir las políticas y regulaciones ambientales del país y el Ministerio del Interior como entidad encargada de la formulación, implementación y evaluación de políticas públicas orientadas al desarrollo y la equidad de los grupos étnicos, minorías y poblaciones vulnerables.

En la investigación se indagó que, en los departamentos de Guainía y Vaupés, no hay políticas públicas territoriales que promuevan la generación con FNCER; por lo que el Gobierno Nacional a través de sus planes y programas en materia de energías limpias, estableció en la resolución CREG 004-2014 incentivar la implementación de fuentes de generación renovables convencionales y no convencionales en la canasta energética de las ZNI, garantizando con los cargos propuestos, la sostenibilidad de la infraestructura.

12 CONCLUSIONES

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).

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

El mundo ha venido tomando conciencia de la importancia del cuidado del medio ambiente, para ellos los diferentes Gobiernos han tomado medidas restrictivas del tipo de bonos de CO₂, multas por exceder los límites de emisiones permitidos, muy probablemente se presente que los costos ambientales de los proyectos sea el componente que los viabilice.

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 toda vez que se avanza en el objetivo de dejar atrás la generación y el uso de energía eléctrica a partir de combustibles contaminantes. La Granja Solar de Inírida 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 además de ser amigable con el medioambiente 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.

Las ZNI al estar ubicadas en lugares de difícil acceso generan poco interés para la implementación de proyectos en estas zonas que puedan suplir las necesidades eléctricas, 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.

Con los casos de estudio y teniendo como base que se encuentran en operación, se evidencia como la ejecución de proyectos con FNCER en ZNI, son viables y contribuyen a la disminución del impacto ambiental, reduciendo la fuerte dependencia al 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.

13 RECOMENDACIONES

En la elaboración de este trabajo surgieron varias recomendaciones que pueden ser útiles para futuras investigaciones o aplicaciones de proyectos solares fotovoltaicos:

Se recomienda a los Generadores, entidades públicas, privadas y al Gobierno Nacional de las ZNI que antes de implementar una alternativa de energización en algún centro poblado de las ZNI, se debe realizar un análisis de factibilidad que tenga en cuenta las condiciones geográficas, socioculturales y económicas particulares del lugar. Adicionalmente, se recomienda realizar los cálculos de dimensionamiento del sistema teniendo en cuenta la demanda específica (que depende del número de habitantes de la localidad a analizar), los costos actuales de generación, la dificultad logística que se presente en la zona y en la medida de lo posible contar con una mayor precisión en el valor del recurso (preferiblemente con mediciones reales en el lugar del proyecto). También, se recomienda hacer una revisión exhaustiva de la oferta tecnológica y de los nuevos costos; para finalmente, calcular los costos de generación y de capital con una mayor precisión.

Se recomienda a la Universidad Autónoma de Manizales, enfocar los análisis y las investigaciones a la implementación de FNCER en zonas apartadas del país y de difícil acceso, permitiendo desarrollar diferentes programas que apoyen al Gobierno Nacional para cerrar la brecha energética del país. Así mismo, que quede documentado los estudios técnicos que permitan reemplazar el diésel hacia otras fuentes de generación.

El país cuenta con un promedio de irradiación solar de 4,5 kWh/m²/d, cifra que supera significativamente al promedio mundial, estimado en 3,9 kWh/m²/d, teniendo que para las ZNI la disponibilidad de este recurso es excelente, por lo que se recomienda que se debe tener en cuenta la alternativa solar como solución energética para las ZNI, dado que las características a hoy son similares en todas las ZNI de Colombia; pero para ello es necesario decisiones legislativas de incentivos y otras regulaciones que permitan el uso de esta tecnología en estas zonas.

Es importante que el Gobierno Nacional continúe aunando esfuerzos, para que en las ZNI se cuente con un sistema de monitoreo en tiempo real, permitiendo de esta manera la

reducción de incertidumbre en la información, lo que proporciona un análisis acertado de los datos y una adecuada inversión de recursos para la implementación de proyectos en las zonas identificadas con alto potencial de irradiación solar, esta es una muy buena opción económica, social, ambiental para las comunidades.

Se recomienda al Gobierno Nacional reglamentar dentro de los Planes de Ordenamiento Territorial, la inclusión de la capa de uso del suelo de potencial energético solar o de FNCER. Así mismo, reglamentar en la presentación de los proyectos con FNCER, un plan de capacitación y educación a los usuarios sin cobertura eléctrica en las ZNI, ya que el desconocimiento de tecnologías y procesos, además de consideraciones culturales y sociales que posee cada una de las regiones, llegan a ser factores que dificultan la implementación como el éxito de tales proyectos.

El Gobierno Nacional ha venido trabajando en la reglamentación de diferentes políticas en materia de energía limpias, con el fin de incentivar la generación con fuentes renovables, pero de acuerdo a los análisis realizados en la elaboración de este trabajo, para las ZNI sólo se cuenta con incentivos a nuevas fuentes, por lo que se recomienda que se estructure una política energética para las ZNI, con objetivos, recursos y planes específicos.

14 BIBLIOGRAFIA

- Schumacher, L., Küpper, G., Henneaux, P., Bruce, J., Klasman, B., & Ehrenmann, A. (2016). "The Future Power Market Design". *North European Power Perspectives (NEPP)*, Online.
- Ajlan, A., Tan, C. W., & Abdilahi, A. M. (2017). Assessment of environmental and economic perspectives for renewable-based hybrid power system in yemen. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 559-570.
- Akella, A. K., Saini, R. P., & Sharma, M. P. (2009). Social, economical and environmental impacts of renewable energy systems. *Renewable Energy*, 34, 390-396.
- Andrade Baquero, N. E. (2020). *DESCRIPCIÓN, UTILIZACIÓN Y PROYECCIONES DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN EL DEPARTAMENTO DEL CAQUETÁ*. Manizales.
- Arce , G.; Ortiz, R.; Valencia, J.;. (2017). *Plan de acción indicativo de eficiencia energética 2017-2022. Una realidad y oportunidad para Colombia*. Bogota: Ministerio de Minas y Energía, Unidad de Planeación Minero Energética (UPME).
- 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.
- Artículo 365, Constitución Política de Colombia. (1991, 4 de julio). *Prestación de servicios Públicos*.
- Asrari, A., Zarif, M., Ghasemi , A., & Abdelwahed, S. (2013). Análisis tecnoeconómico de sistemas de batería fotovoltaica-diésel híbridos independientes para la electrificación rural en la parte oriental de Irán: un paso hacia el desarrollo rural sostenible. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 456-462.
- Avella E., S., Haghghat M., A., Shirazi, A., & Rinaldi, F. (2016). Viabilidad tecnoeconómica de los sistemas de electrificación fotovoltaica, eólica, diésel e

- híbrida para la electrificación rural fuera de la red en Colombia. *Renewable Energy*, 97, 293-305.
- Baeza, R. (2007). “Horizonte a Largo Plazo en la Generación Eléctrica”. *Revista de Economía Industrial, Ministerio de Ciencia y Tecnología Español*(364), 87-102.
- Banco Mundial. (2018). *Project appraisal document on a proposed IBRD guarantee in the amount of USD 41 million and a proposed CTF guarantee in the amount of USD 40 million to the Republic of Colombia for a Colombia clean energy development project*.
- Bancoldex. (2019). *Bancoldex*. Obtenido de Bancoldex:
<https://www.bancoldex.com/soluciones-financieras/programa-de-eficiencia-energetica-seguro-de-ahorros-de-energia-3414>
- Bitar S., S. M., & Chamas B, F. (2017). *ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA IMPLEMENTACION DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS COMO FUENTE DE ENERGÍA EN EL SECTOR INDUSTRIAL DE COLOMBIA*. Colegio de Estudios Superiores de Administración –CESA, Bogota.
- Bullard, N. (2018). *Approaches for using scenarios in strategic decision making the future of energy*. Obtenido de <https://www.fsbtcf.org/wp-content/uploads/2018/03/PresentationBloombergNewEnergyFinance.pdf>
- Burney, J., Woltering, L., Burke, M., & Naylor, R. (2010). Solar-powdered drip irrigation enhances food security in the Sudano-Sahel. *Proceeding of the National Academy of Sciences of United States of America*, 5(107), 1848-1853.
- Bustos G., J., Sepulveda, A., & Triviño A., K. (2014). ZONAS NO INTERCONECTADAS ELÉCTRICAMENTE EN COLOMBIA: PROBLEMAS Y PERSPECTIVA. *Econografos Escuela de Economía*(65), 1-27.
- Cadavid, M., Jiménez, M., & Franco, C. (2014). Escenarios de paridad de red fotovoltaica en Colombia. *Dyna*, 237-245.

- Carter, C. E., & Shafiullah, G. M. (2015). Estudio de viabilidad de sistemas de energía híbridos fotovoltaicos (FV) -diésel para redes remotas. *IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT ASIA)*.
- 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.
- Congreso de Colombia, LEY 629. (2000). *LEY 629*. Bogota.
- Congreso de Colombia, LEY 697. (2001). *LEY 697*. Bogotá.
- Congreso de Colombia, Ley 855. (2003). *Ley 855*. Bogotá.
- Congreso de la Republica, articulo 11, Ley 143. (1994). *Ley 143*.
- CONSORCIO ENERGÉTICO CORPOEMA. (2010). *FORMULACIÓN DE UN PLAN DE DESARROLLO PARA LAS FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGÍA EN COLOMBIA (PDFNCE)*. Bogota.
- Correa Henao, G. J. (2017). “Reflexiones en torno términos de referencia ANLA para proyectos de energía solar fotovoltaica”. *Lámpsakos*, 18, 9-10.
doi:<https://doi.org/10.21501/21454086.2633>
- CREG. (2013). *Comisión de Regulación de Energía y Gas*. Obtenido de <https://www.creg.gov.co/>
- De juana, J. M., Santos, F., Crespo, A., Herrero, M. A., De Fransisco, A., & Fernandez, J. (2008). *Energias renovables para el desarrollo*. Paraninfo. Obtenido de <http://www.gie.com.co>
- Departamento Nacional de Planeación. (2018). *CONPES 3934*. Bogota.
- DNP; Fedesarrollo; GGGI; PNUMA. (2017). *Evaluación del Potencial de Crecimiento Verde para Colombia*. Bogota.
- Dyner, I., Hoyos, S., & Franco, C. (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.
- Echeverry Cardona , L. F. (2018). *Diagnóstico, perspectivas y desempeño de la energía solar fotovoltaica en el Departamento de Caldas* . Manizales.
- EcoInventos Green Technology*. (2020). Obtenido de <https://ecoinventos.com/vida-util-panel-solar/>
- Enersinc. (2018). *Energy Supply Situation in Colombia*.
- Enersinc, Korea , G. G., & Wordl , B. G. (2017). *DNP* . Obtenido de <https://www.dnp.gov.co/Crecimiento-Verde/Documents/ejes-tematicos/Energia/MCV%20-%20Energy%20Demand%20Situation%20VF.pdf>
- Erazo Checa, F., & Erazo de la Cruz, O. (s.f.). En *Potencial Natural para el Desarrollo Fotovoltaico en Colombia* (págs. 52-59). U mariana.
- Ferreira, M. C., & Valencia , J. A. (2013). *PROYECCIÓN DE DEMANDA DE ENERGÍA EN ZONAS AISLADAS, UTILIZANDO MODELAMIENTO LEAP (LONG RANGE ENERGYALTERNATIVES PLANNING SYSTEM)*. Bogotá: IPSE.
- FISE. (02 de Mayo de 2019). *FISE*. Obtenido de <https://fise.co/noticias/colombia-y-su-gran-potencial-para-la-energia-solar/>
- 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. (F. Malaver Rodríguez, Ed.) *Cuadernos de Administración*, 22(38), 219-245.
- Franco, C., Dyner, I., & Hoyos, S. (2007). *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*, 75(154), 199-214.

- Ghiani, E., Vertuccio, C., & Pilo, F. (2016). Dimensionamiento óptimo del conjunto multigeneracional para la electrificación rural sin conexión a la red. *Paper presented at the IEEE Power and Energy Society General.*
- Gobierno Nacional. (2014). *Ley 1715 - Integración de Energías Renovables.* Bogotá.
- Gómez Ramírez, Jhonnatan; Murcia Murcia, Jairo D; Cabeza Rojas, Ivan;. (Agosto - Octubre de 2016 - 2017). LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN COLOMBIA: POTENCIALES, ANTECEDENTES Y PERSPECTIVAS. *Revista de Divulgación científica, Citas.*
- Gómez, N. (2011). *Energización de las Zonas no Interconectadas a Partir de las Energías Renovables Solar y Eólica.* Pontificia Universidad Javeriana. Bogota D.C: Pontificia Universidad Javeriana - Facultad de Estudios Ambientales Rurales.
- Gómez, N. E. (2011). *Energización de las zonas no interconectadas a partir de las energías renovables solar y eólica.*
- Gonzalez Velasco, J. (2009). *Energías Renovables.* (E. Reverte., Editor) Obtenido de <https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/uso-electrico/energias-del-mar>
- González, T.; Velencia, J.:. (2015). *Documento Ejecutivo Integración de las Energías Renovables No Convencionales en Colombia.* Bogotá: Ministerio de Minas y Energía, Unidad de Planeación Minero Energética - UPME.
- Green Peace.* (Agosto de 2003). Obtenido de Green Peace: <https://www.greenpeace.org/international/>
- Guzmán Acuña, L., Vasquez Padilla, R., & Santander Mercado, A. (2017). Measuring reliability of hybrid photovoltaic-wind energy systems: A new indicator. *Renewable Energy, 106,* 68-77.
- Hernandez, J. A., Velasco de la Fuente, D., & Trujillo Rodriguez, 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.

- Hernandez, R., Easter, S., Murphy Mariscal, M., Maestre , F., Travassoli, M., Allen, E., & Michel, A. (2014). Environmental impacts of utility-scale solar energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*(29), 766-779.
- Hunt, T. (2014). *Swanson's Law and Making US Solar Scale Like Germany*. Obtenido de <https://www.greentechmedia.com/articles/read/is-there-really-a-swansons-law>
- IDEAM y UPME. (2006). *Atlas de Viento y Energía Eólica de Colombia*.
- Inirida, A. d. (s.f.). *Alcaldía de Inirida* . Obtenido de Alcaldía de Inirida : <http://www.inirida-guainia.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx>
- IPSE. (2017). *INSTITUTO DE PLANIFICACIÓN Y PROMOCIÓN DE SOLUCIONES ENERGÉTICAS PARA LAS ZONAS NO INTERCONECTADAS IPSE*. Obtenido de <http://www.ipse.gov.co/>
- IRENA. (2019). *Renewable capacity statistics*. Obtenido de <https://www.irena.org/publications/2019/Mar/RenewableCapacityStatistics2019>
- ISE, I. S. (2018). *Especificación técnica: Memoria descriptiva Planta Fotovoltaica Inirida (Colombia)*. Inírida. doi:INI-GRS-GE-RPT-0001-B.” ISE
- Ismail, M. S., Moghavvemi, M., & Mahlia, T. M. (2013). Diseño de un sistema de energía híbrido fotovoltaico y de microturbina optimizado para una pequeña comunidad remota: estudio de caso de Palestina. *Conversión y gestión de energía*, 75, 271-281.
- Jiménez Z., M. (2016). *Evaluación de los efectos de la penetración fotovoltaica en la curva de carga del sector residencial: el caso colombiano*. UNAL.
- Junta de Castilla y León. (2004). *Energía Solar Fotovoltaica: Manual del instalador*. España: Consejería de Economía y Empleo.
- Kazem, H. A., Khatib, T., Sopian, K., & Elmenreich, W. (2014). Evaluación del rendimiento y la viabilidad de un sistema de energía fotovoltaica en la azotea de 1,4 kW conectado a la red en condiciones climáticas desérticas. *Energy and Buildings*, 82, 123-129.

- Khan, F., Pal, N., & Saeed, S. (2018). Review of solar photovoltaic and wind hybrid energy systems for sizing strategies optimization techniques and cost analysis methodologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 92, 937-947.
- Khatib, T., Muhsen, D. H., & Haider, H. T. (2017). Un análisis de viabilidad y sensibilidad a la carga de un sistema de bombeo de agua fotovoltaico con batería y generador diésel. *Energy Conversion and Management*, 148, 287-304.
- Kumar, A., & Samadder, S. R. (2017). Una revisión sobre las opciones tecnológicas de conversión de residuos en energía para una gestión eficaz de los residuos sólidos urbanos. *Waste Management*, 69, 407-422.
- Lindsay, W., & Moncef, K. (24 de Septiembre de 2013). Optimización de sistemas híbridos de generación distribuida para comunidades rurales en Alaska. 7-31.
- Mesa, J. D., Escobar Mejia, A., & Hincapie Isaza, R. A. (2009). Descripción y análisis del efecto fotovoltaico en la región. *Scientia Et Technica*, 42(0122-1701), 327-332.
- Ministerio de Minas y Energía. (2017). *Ministerio de Minas y Energía (MME)*. Obtenido de <https://www.minenergia.gov.co/>
- Moghavvemi, M., Mazandarani, A., Chong, W. T., & Mahlia, T. M. (2011). Predicción del consumo de combustible y las emisiones de las centrales eléctricas iraníes hasta 2025. *Revisiones de energías renovables y sostenibles*, 1575-1592.
- Mundo Eléctrico. (2019). La energía solar: Indiscutible líder de la generación en Colombia y el mundo. *Mundo Eléctrico*, 33(120), 88.
- OLADE. (2019). *Panorama Energético 2019. Metodología y definición de los indicadores*.
- Ortiz M, D. C., Sabogal A, J., & Hurtado A, E. (Diciembre de 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.
- Ortiz, A. C, García, C. L. E., Parra, A. P. (2019). DE LOS HIDROCARBUROS A LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN COLOMBIA. *Cultura Latinoamericana*, 29(1), 138-162. doi:<http://dx.doi.org/10.14718/CulturaLatinoam.2019.29.1.6>

- Pereira Blanco, M. J. (2015). RELACIÓN ENTRE ENERGÍA, MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO ECONÓMICO A PARTIR DEL ANÁLISIS JURÍDICO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN COLOMBIA. *SABER, CIENCIA Y Libertad*, 10(1), 1794-7154.
- Posso, F., Acevedo, J., & Hernández, J. (2014). El impacto económico de las energías renovables. *Aibi revista de investigación, administración e ingeniería*, 2, 22 -26.
- Ramchandran, N., Pai, R., & Parihar, A. K. (2016). Feasibility assessment of anchorbusiness-community model for off-grid rural electrification in india. 97, 197-209.
- Restrepo Trujillo, J., Moreno Chuquen, R., & Jiménez Garcia, F. (2020). ESTRATEGIAS DE EXPANSIÓN DE SISTEMAS ELÉCTRICOS BASADOS EN CENTRALES HIDROELÉCTRICAS EN EL CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO: CASO DE ANÁLISIS DE COLOMBIA. *REVISTA INTERNACIONAL DE ECONOMÍA Y POLÍTICA ENERGÉTICA*, 10(6).
- Rivera, S., & Ñustes, W. (2017). COLOMBIA: TERRITORIO DE INVERSIÓN EN FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGÍA RENOVABLE PARA LA GENERACIÓN ELÉCTRICA. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, 17(1), 37-48.
- Rodrigues, S., Torabikalaki, R., Faria, F., Cafoto, N., Chen, X., Ivaki, A., & Morgado Dias, F. (2016). Economic feasibility analysis of small scale PV systems in different countries. *Solar Energy*, 131, 81-95.
- Rodríguez Murcia, H. (2009). Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus Perspectivas. (U. d. Andes, Ed.) *Revista de Ingeniería*(28).
- Rodríguez, J. (2019). *Estudio del potencial eólico en Colombia, viabilidad de un parque eólico*. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA. Cartagena: Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial.

- 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.
- Sabogal, J., & Moreno, E. (2011). “Evaluación de los proyectos de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) presentados a la Junta Ejecutiva de la Convención Marco para Cambio Climático de las Naciones Unidas (UNFCCC) entre el 2004 y el 2008 bajo criterios de sostenibilidad.”. *Revista de la Facultad de Ciencias Económicas*, XIX(1), 125-140.
- Said, B., & Ahmed, I. (2014). Sistema híbrido de la central diésel existente con fotovoltaica, viabilidad técnica y económica, caso de Talmine. *3er Simposio Internacional sobre Energías y Aplicaciones Amigables con el Medio Ambiente (EFEA)*.
- Samy, M., Barakat, S., Eteiba, M. B., & Wahba, W. (2016). Feasibility study of grid connected PV-biomass integrated energy system in egypt. *International Journal of Emerging Electric Power Systems*, 5, 519-528.
- SER Colombia. (Noviembre de 2017). *Justificación no DAA proyectos energías renovables*. Obtenido de <https://www.ser-colombia.org/>
- Serway, R. A., & Faughn, J. S. (2001). *Física*. Pearson Education.
- Talayero Navales, A. P., & Telmo Martinez, E. (2008). *Twenwrgy*. (Prensas Universitarias de Zaragoza.) Obtenido de Energías Renovables, Energía: <https://twenergy.com/energia/energia-eolica/>
- Tsoutsos, T.; Frantzeskaki, N.; Gekas, V. (2005). Environmental impacts from the solar energy technologies. *Energy Policy*, 33(3), 289-296. Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/consultaremota.upb.edu.co/science/article/pii/S0301421503002416>
- UPME. (2002_2005). *Plan Indicativo de Expansión de Cobertura de Servicio de Energía Eléctrica (PIEC)*. Unidad de Planeación Minero Energética UPME;, Bogota D.C.

- UPME. (2005). *Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia*. UPME, Bogota.
- UPME. (2015). *Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia*. Bogota.
- UPME. (2015). *Plan Energético Nacional Colombia: Ideario Energético 2050*. Unidad de Planeación Minero - Energética, Bogota.
- UPME. (2019). *Plan Energético Nacional 2020 -2050*. Bogota.
- Viloria, J. R. (2013). *Energias Renovables, Lo que hay que saber*. Ediciones Paranifo S.A.
- World Energy Council. (2020). *Energy Trilemma Index*.
- XM S.A ESP. (2015). *"Informe de Operación del SIN y Administración del Mercado"*. Bogota: XM.
- Zeren, F., & Tunahan Akkus , H. (2020). The relationship between renewable energy consumption and trade openness: New evidence from emerging economies. *Renewable Energy*, 147, 322-329.

15 ANEXOS

Energía solar fotovoltaica: Diagnóstico, perspectivas y desempeño en Inírida y Mitú

DIAGNÓSTICO DE SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS INSTALADOS EN INIRIDA Y MITÚ

ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

Fecha: _____

1. IDENTIFICACIÓN

1.1. Nombre de la entidad donde se encuentra el sistema solar:

1.2. Nombre de la persona que diligencia el instrumento:

1.3. Cargo:

1.4. Tel:

1.5. Email: _____

2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL SISTEMA

2.1. ¿Fecha de instalación del sistema?:

2.2. ¿Cuál es la potencia del sistema?:

2.3. ¿Cuál es el nivel de tensión del sistema?:

2.4. ¿Cuál es su demanda de energía (kWh/mes)?: (diligenciar anexo 1 y 2)

2.5. ¿Qué tipo de sistema posee?:

a) Instalación solar fotovoltaica:	<input type="checkbox"/>
b) Instalación solar térmica:	<input type="checkbox"/>

a.1) Sistema solar FV aislado	<input type="checkbox"/>
a.2) Sistema solar FV Híbrido	<input type="checkbox"/>
a.3) Sistema solar FV conectado a red	<input type="checkbox"/>
Otro, ¿cuál?	

2.6. Si su sistema es conectado a red, ¿cuál es el operador de red?:

2.7. Los precios de la electricidad (a la que están acostumbrados en su zona):

2.8. ¿Cuál es el porcentaje de aporte del sistema conectado a red?:

a) entre el 10% y 30% <input type="checkbox"/>	b) Entre el 31% y el 50% <input type="checkbox"/>	c) Entre el 51% y el 100% <input type="checkbox"/>
--	---	--

2.9. ¿Cuántos paneles posee el sistema?

2.10. ¿Qué tipo de inversor posee?:

2.11. ¿Qué tipo de convertidor posee?:

2.12. ¿Cómo describe la configuración del arreglo de los módulos FV (*strings*)?

a) Serie <input type="checkbox"/>	b) Paralelo <input type="checkbox"/>	Mixta <input type="checkbox"/>
-----------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------

2.13. ¿En qué tipo de zona está instalado del sistema solar FV?

a) Urbano <input type="checkbox"/>
b) Rural <input type="checkbox"/>

2.14. ¿En qué tipo de sector productivo está instalado del sistema solar FV?

a) Residencial <input type="checkbox"/>
b) Comercial <input type="checkbox"/>
c) Institucional <input type="checkbox"/>
d) Industrial <input type="checkbox"/>
e) Agropecuario <input type="checkbox"/>

2.16 ¿Cuáles son las aplicaciones en las que emplea la energía solar fotovoltaica generada por el sistema instalado?

a) Iluminación	<input type="checkbox"/>
b) Electrodoméstico	<input type="checkbox"/>
c) Cercas Eléctricas	<input type="checkbox"/>
d) Calentador de agua	<input type="checkbox"/>
e) Bombeo	<input type="checkbox"/>
f) Alumbrado Público	<input type="checkbox"/>
g) Riego de plantaciones	
h) Otro. ¿Cuál? Todas las cargas del municipio principalmente residenciales	

2.17 Si el sistema posee respaldo de baterías, describa:

2.14.1. Tipo de baterías:

2.14.2. Potencia:

2.14.3. Eficiencia:

3. CARACTERÍSTICAS ECONÓMICAS DEL SISTEMA

3.1. La planta es:

a) Propia	<input type="checkbox"/>	b) Concesión	<input type="checkbox"/>	Comodato	<input type="checkbox"/>
-----------	--------------------------	--------------	--------------------------	----------	--------------------------

3.2. Si la planta No es propia, ¿indique que tipo de contrato tiene como la empresa que le brinda el servicio?:

3.3. Si la planta es propia, ¿tuvo algún tipo de apoyo financiero o tributario?:

3.4. Si realizó préstamo con una entidad bancaria, ¿a qué tasa de interés financió el sistema? Y ¿con que empresa realizó el trámite?:

3.5. Costo de inversión

3.5.1. ¿Cuánto costó la instalación del sistema solar en total?:

3.5.2. ¿Cuál fue el costo del sistema (paneles, inversor, convertidor, red, accesorios, etc.)

?: _____

3.5.3. ¿Tiempo de vida útil de los paneles solares?:

3.5.4. ¿Cuál fue el costo de la estructura de soporte del sistema solar?:

3.5.5. ¿Cuál fue el costo de la mano de obra?:

3.5.6. Si el sistema solar cuenta con respaldo de baterías, ¿puede indicar el costo de dichas baterías?:

3.5.7. Tiempo de vida útil de las baterías:

3.5.8. Tiempo de vida útil del inversor:

3.5.9. ¿Incurrió en otros costos? ¿Cuáles?:

3.6. Costo de reemplazo

3.7. ¿Ha realizado alguna Ampliación al sistema? ¿Si no cuál?

3.7.1. Que elementos del sistema debe reemplazar frecuentemente (2 a 4 años):

3.7.2. ¿Cuánto cuesta el reemplazo de estos equipos?:

3.7.3. Durante la vida útil del sistema, ¿cuántas veces los debe reemplazar?:

3.8. Costo de operación y mantenimiento

3.8.1. ¿Qué tipo de mantenimiento debe realizarle al sistema solar?:

3.8.2. ¿Quién realiza el mantenimiento?:

- 3.8.3. ¿Cuánto cuesta el mantenimiento?:
- 3.8.4. ¿Cuál es la frecuencia del mantenimiento?:
- 3.8.5. ¿Qué tipo de operación se le debe realizar al sistema?:
- 3.8.6. ¿Debe hacer mediciones técnicas frecuentemente (indique la frecuencia) ?:
- 3.8.7. ¿Qué tipo de mediciones se realizan?:
- 3.8.8. ¿Quién realiza la operación del sistema?:
- 3.9. Si ha calculado el costo del kW (costo nivelado), ¿puede indicar cuál es?:

4. CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES DEL SISTEMA

- 4.1. Promedio de radiación solar global horizontal en la zona:
- 4.2. Promedio horario de la radiación solar global horizontal en la zona. ¿Puede brindarnos datos de la radiación solar horaria en la zona?: SI:___ NO: _____
- 4.3. ¿Cantidad de CO2 que deja de emitir?:
- 4.4. Área utilizada en la instalación solar:
- 4.5. ¿Considera que hubo afectación de especies, con la instalación del sistema? ¿Por qué?:
- 4.6. ¿Considera que hubo afectaciones paisajísticas, con la instalación del sistema? ¿Por qué?:

5. CARACTERÍSTICAS DE CONFIABILIDAD DEL SISTEMA

- 5.1. ¿Qué tan confiable considera que sea el sistema solar? (Confiabilidad: habilidad del sistema de responder a la demanda de electricidad de manera continua y eficiente).

a) 50% a 60% <input style="width: 20px; height: 20px; margin-left: 10px;" type="checkbox"/>	b) 70% y 90% <input style="width: 20px; height: 20px; margin-left: 10px;" type="checkbox"/>	Mayor al 90% <input style="width: 20px; height: 20px; margin-left: 10px;" type="checkbox"/>
---	---	---

- 5.2. ¿Podría dar un valor aproximado de la disponibilidad del sistema de generación (%)? (diligenciar anexo 3)

- 5.3. Cuantas veces al día, ¿la potencia generada por el sistema no cubre la demanda?:

5.4. Durante que periodos de tiempo al día, ¿el sistema no es capaz de cumplir con la demanda de energía?:

5.5. Cuantas veces en un año, ¿la potencia generada por el sistema no ha cubierto la demanda?:

5.6. ¿Qué tan seguro considera que es el sistema? (Seguridad: habilidad de un sistema de potencia para soportar perturbaciones repentinas, Eje: árbol que cae sobre la red, perdida inesperada de un componente, etc., en el corto plazo).

a) 50% a 60%	<input type="checkbox"/>	b) 70% y 90%	<input type="checkbox"/>	Mayor al 90%	<input type="checkbox"/>
--------------	--------------------------	--------------	--------------------------	--------------	--------------------------

5.7. ¿Ha tenido contingencias planeadas o no planeadas en la operación del sistema?
¿Cuales?:

6. CARACTERÍSTICAS SOCIALES DEL SISTEMA

6.1 1. ¿Qué conoce sobre energías renovables y cómo adquirió tal información?

6.1. ¿Cuál es su apreciación sobre las ER ahora que usa una de ellas y Cómo puede describir la aceptación de la sociedad de su sistema de generación solar?:

6.2. ¿Ha generado empleo con el sistema de generación? ¿Podría indicar cuantos empleos se han generado?

6.3. Beneficio social: ¿Qué aspectos productivos, económicos, culturales, ambientales, etc., se fortalecieron con la implementación del sistema?:

6.4. Porcentaje de reducción de costos de la energía eléctrica, con la implementación del sistema solar:

6.5. Número de actividades de difusión de su sistema con la comunidad:

6.6. ¿Otros beneficios obtenidos con la implementación del sistema?:

6.7. En una escala de 1 a 5, siendo 5 muy satisfactorio y 1 insatisfactorio, ¿cómo califica su grado de satisfacción con el sistema que tiene instalado?

Firma: _____

Cedula: _____

ANEXO 1 Cuadro de Carga

Nº	Equipo – Electrodoméstico	Cantidad	Potencia (W)	Tiempo de funcionamiento o al día (h/día)	Energía (Wh/día)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

ANEXO 2 Índices técnicos

Nº	Electrodoméstico	Potencia Nominal (W)	Potencia Total Instalada (W)	Factor f_c de carga	Factor de Utilización f_u	Potencia Efectiva Total
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
Total						
				<u>Potencia efectiva total / Potencia total instalada</u>		

ANEXO 3 Índices de confiabilidad

CARGA DISPONIBLE DE GENERACIÓN (kW)	DISPONIBILIDAD (%)