



UNIVERSIDAD EAN

FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE PROYECTOS

MODELO APLICADO EN POBLACIONES DE ZNI DE COLOMBIA PARA EL  
SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO

AUTORES:

FREDDY HOYOS

JULIAN CORREA

JOSE BECERRA

DIEGO JIMENEZ

DIRECTOR:

ALIX ROJAS

BOGOTÁ D.C., 31 DE MAYO DE 2019

## **Resumen**

Este trabajo presenta un modelo aplicado en poblaciones de Zonas no Interconectadas (ZNI) de Colombia con el fin de brindar el suministro de energía eléctrica mediante la implementación de un sistema fotovoltaico, el modelo será validado en la población de SIPI ubicada en el departamento del Choco donde el suministro de energía eléctrica es convencional mediante plantas Diesel por un periodo de 6 o menos horas al día. Para Garantizar que el modelo fuera aplicado en más de una población fue necesario realizar una recopilación de información como; poblaciones de ZNI, cantidad de habitantes, radiación solar, suministro de energía horas/día y ubicación geográfica

La población de SIPI fue tomada como caso de estudio para validar el modelo verificando las variables mencionadas anteriormente para determinar técnicamente y económicamente si el modelo planteado es aplicable garantizando el suministro de energía eléctrica por 24 horas a todos sus habitantes mejorando su calidad de vida,

**Palabras Clave** — Energía Solar, Fotovoltaico, ZNI, técnico, económico, habitantes.

## ***Abstract***

This work presents a model applied in populations of Non-Interconnected Zones (ZNI) of Colombia in order to provide electricity supply through the implementation of a photovoltaic system, the model will be validated in the SIPI population located in the Department of Choco where the supply of electrical energy is conventional through diesel plants for a period of 6 or less hours per day. To ensure that the model was applied in more than one population it was necessary to compile information such as; populations of ZNI, number of inhabitants, solar radiation, hours / day energy supply and geographic location

The SIPI population was taken as a case study to validate the model by verifying the variables mentioned above to determine technically and economically the proposed model is applicable guaranteeing the supply of electric power for 24 hours to all its inhabitants improving their quality of life.

***Keywords*** — *Solar energy, Photovoltaic, ZNI, technical, economic, population.*

## TABLA DE CONTENIDO

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	5
2. OBJETIVOS.....	8
3. JUSTIFICACIÓN .....	8
4. MARCO TEÓRICO .....	10
5. METODOLOGÍA.....	15
6. VARIABLES.....	16
6.1 Población.....	16
6.2 Habitante .....	16
6.3 Energía solar .....	16
6.4 Radiación solar.....	17
6.5 Sistema Fotovoltaico .....	17
6.6 Potencia Máxima o Potencia Nominal.....	17
6.7 Voltaje de Máxima Potencia .....	18
6.8 Corriente de Máxima Potencia .....	18
6.9 Electricidad.....	18
6.10 Políticas Energéticas.....	18
7. HIPÓTESIS.....	19
8. MODELO SUMINISTRO DE ENERGÍA EN ZNI .....	20
9. INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	23
9.1 Análisis De Datos Y Selección De Poblaciones Objetivo.....	23
9.2 Análisis Técnico - Económico.....	31
10 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	37
11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	38

## LISTADO DE FIGURAS Y TABLAS

Figura 1 Ubicación por departamento de la demanda de energía en las ZNI.....	6
Figura 2 Evolucion de la generacion vs proyeccion de la demanda .....	170
Figura 3 Mapa de radiación solar en Colombia.....	12
Figura 4 Componentes de la radiación solar sobre un plano inclinado.....	17
Tabla 1 Horas de servicio de energia eléctrica por día .....	24
Figura 5. Grupos con consumo de energia inferior a 6 horas .....	25
Figura 6. Porcentaje en horas de suministro de energia eléctrica en las ZNI ... ..	25
Figura 7. Comparativo número de poblaciones en grupos de suministro de 6 horas .....	26
Figura 8. Comparativo cantidad de habitantes y suministro de energia diario.....	27
Tabla 2. Comparativo número de poblaciones y familias.....	27
Tabla 3. Índice de radiación solar en ZNI .....	28
Tabla 4. Promedio radiación Solar ZNI .....	29
Figura 9 Promedio de radiación solar con respecto a la cantidad de habitantes .....	29
Tabla 5. Tabla 5. Cálculo de variables para el diseño del sistema fotovoltaico.....	34
Tabla 6. Equipos a Instalar (12).....	34
Figura 10. Identificación del municipio de Sipi (wikipedia).....	30
Tabla 7. Consumo diario promedio de equipos en las viviendas.....	35
Tabla 8. Obras físicas para la instalación del sistema fotovoltaico .....	35
Tabla 9. Costos asociados a personal para la instalación del sistema fotovoltaico.....	36
Tabla 10. Balance de Insumos.....	36
Tabla 11. Comparativo inversión y tiempo de recuperación de la inversión .....	37

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La prestación del servicio de energía eléctrica y su expansión se realizan mediante la conexión física de los usuarios al Sistema Interconectado Nacional (en adelante, “SIN”) o a un sistema local aislado del mismo. Este último caso, el de las ZNI, se refiere a áreas geográficas que no se encuentran acopladas eléctricamente al SIN, esto es, no tienen acceso al servicio de energía eléctrica a través de un sistema interconectado pero cuentan con soluciones locales de generación. Dichas soluciones, en su gran mayoría, funcionan a partir de combustibles líquidos. (Superservicios, 2017).

Por esta razón, las ZNI han sido objeto de constantes proyectos para promover su desarrollo y mejorar la calidad de vida de los habitantes ubicados en ellas. Concretamente, en lo relacionado con el servicio de energía eléctrica, el Estado ha promovido la adopción de medidas tendientes a consolidar proyectos de energización de estas zonas (Superservicios, 2017)

De acuerdo con el Informe de Rendición Social de Cuentas 2016-2017 del Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas no Interconectadas (en adelante, “IPSE”) y el Sistema Único de Información de la SSPD (en adelante, “SUI”), las ZNI representan aproximadamente el 52% del territorio colombiano y en ellas se encuentra una población estimada de 1.900.000 habitantes. Estas zonas se encuentran compuestas por un departamento insular (Archipiélago de San Andrés y Providencia), cuatro capitales departamentales (Amazonas, Vichada, Guainía y Vaupés), 17 departamentos, 97 municipios, 37 cabeceras municipales y 1.728 localidades (Superservicios, 2017).

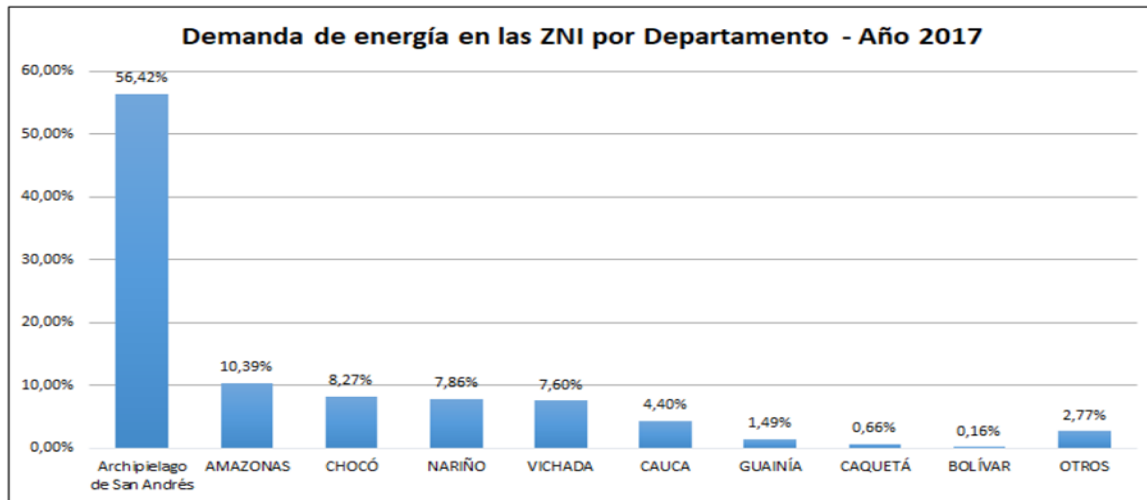
En el mismo informe, el IPSE definió las siguientes como las principales características de las ZNI:

- Nivel de necesidades básicas insatisfechas superior al 77%.
- Zonas de baja densidad poblacional.
- Bajo nivel de consumo promedio.

- Baja capacidad de pago por parte de los usuarios.
- Bajo nivel de recaudo de la cartera de las empresas.
- Altos costos de prestación de servicio de energía eléctrica.
- Altos niveles de pérdidas. - Bajo nivel de micro medición.
- Presencia en las ZNI de zonas de fronteras y áreas de consolidación, zonas costeras e insulares y áreas biodiversas y territorios colectivos de comunidades étnicas nacionales.

Con respecto a la demanda de energía eléctrica en las ZNI, a partir de la información que reposa en el SUI esta Superintendencia calculó que el 82,4% se encuentra ubicado en los departamentos de San Andrés y Providencia, Amazonas, Chocó y Nariño. A continuación, se presentan los departamentos con mayor número de usuarios atendidos en las ZNI:

Figura 1. Ubicación por departamento de la demanda de energía en las ZNI.



Fuente: Diagnóstico de la prestación del servicio de energía eléctrica 2017

A continuación el listado de territorios de las ZNI:

- Antioquia: Vigía del Fuerte y Murindó.
- Caquetá: Cartagena del Chairá, la Montañita, Vicente del Caguán y Solano.
- Cauca: Guapi, López de Micay y Timbiquí.

- Chocó: Acandí, Carmen del Darién, Bojayá, Medio Atrato, El Litoral de San Juan, Sipi y Uniguía.
- Guaviare: San José del Guaviare (su zona rural), Calamar, El Retorno y Miraflores.
- Meta: Mapiripán y La Macarena. - Nariño: Barbacoas, El Charco, La Tola, Magüí, Olaya Herrera, Francisco Pizarro, Roberto Payán y Tumaco.
- Putumayo: Puerto Guzmán y Puerto Leguízamo.
- Valle del Cauca: Buenaventura (su zona rural).

SIPI es una de las poblaciones colombianas que permanecen a oscuras casi todo el tiempo. Según datos del Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas no Interconectadas (IPSE), hay 1.710 localidades rurales en Colombia en donde se calcula que 128.587 personas solo acceden al servicio entre cuatro y doce horas al día. (Vivas, 2018).

Los habitantes de esta pequeña población ubicada en el sur del Chocó en la que solo se puede llegar a través de vía fluvial porque no existen carreteras que la comuniquen con otros municipios del departamento, aseguran que con el pasar de los años se adaptaron a vivir con pocas horas de energía eléctrica durante el día. La falta de iluminación pública también facilitó durante varios años el actuar de grupos criminales, que aprovechaban la oscuridad para atacar a la Fuerza Pública o cometer robos en las calles. No obstante, los habitantes agregan que en los últimos tiempos los actos violentos cesaron y su única preocupación es el acceso a servicios públicos básicos (Vivas, 2018).

Es inconcebible que con la tecnología actual aún existan regiones del país sin acceso a la electricidad. El departamento con mayor número de municipios con ZNI es Chocó, con el 28,6 % razón por la cual es necesario brindar una solución energética que permita el suministro de electricidad para los habitantes de estas poblaciones con el fin de generar una mejor calidad de vida y desarrollo energético en el país. En las ZNI se plantea utilizar sistemas fotovoltaicos que permitan tomar como fuente principal la energía solar para la generación de electricidad, debido a la ubicación geográfica y formas de acceso a las poblaciones de estos departamentos la implementación de sistemas fotovoltaicos se presenta como una excelente alternativa para brindar una solución a la problemática descrita.

## 2. OBJETIVOS

### Objetivo General

Realizar un modelo de suministro de energía eléctrica en poblaciones de Zonas no Interconectadas de Colombia mediante un sistema fotovoltaico.

### Objetivos Específicos

- Determinar la viabilidad técnica económica del modelo planteado en ZNI de Colombia.
- Validar el modelo planteado en el municipio SIPI ubicado en el departamento del Chocó.
- Realizar la comparación de costos del modelo planteado Vs el suministro de energía convencional mediante planta Diesel.

## 3. JUSTIFICACIÓN

El sistema eléctrico de Colombia presenta una problemática importante con el suministro de energía eléctrica dado que no llega a cubrir el 100% de las poblaciones ubicadas en los departamentos del país. Las áreas geográficas que no se encuentran acopladas eléctricamente al SIN se denominan ZNI ya que no tienen acceso al servicio de energía eléctrica. Según estudios realizados por la UPME, el ministerio de minas y el diario el Tiempo existen en Colombia 1.710 localidades rurales en Colombia en donde se calcula que 128.587 personas solo acceden al servicio de energía entre 4 y 12 horas al día, esta situación se presenta por diferentes factores como dificultad para el acceso, problemas de orden público, presupuesto entre otros que hacen que estos municipios tengan graves problemas por la falta de suministro eléctrico constante como deficiencia en los servicios prestados en centros de salud, educación, seguridad, etc.



SIPÍ es uno de los 11 municipios del país donde la prestación de energía eléctrica es inferior a 24 horas diarias. De hecho, esta población, de acuerdo con los indicadores, es donde por menos tiempo se recibe el servicio en Colombia, tan solo con 5 horas del fluido al día. Actualmente en esta población el servicio de energía eléctrica se presta de 5 de la tarde a 11 de la noche mediante una plata Diésel, esta dura siete horas encendida y consume en promedio 36 galones de ACPM al día. Es decir para mantener funcionando solo una máquina es necesaria la inversión de \$ 360.000 al día y de \$ 10'800.000 al mes. (Vivas, 2018).

Dado la problemática planteada se pretende crear un modelo que permita brindar una solución en las poblaciones del ZNI para garantizar el suministro de energía eléctrica en estas poblaciones con una cobertura de 24 horas diarias garantizando una mejor calidad de vida para sus habitantes. SIPI será el municipio seleccionado para validar el modelo planteado dado que actualmente este municipio cuenta con suministro de energía eléctrica convencional por un periodo de 5 o menos horas al día.

Teniendo en cuenta las alternativas de energías limpias disponibles para generación de energía eléctrica es inconcebible que aún existan algunas regiones del país con acceso limitado a la electricidad.

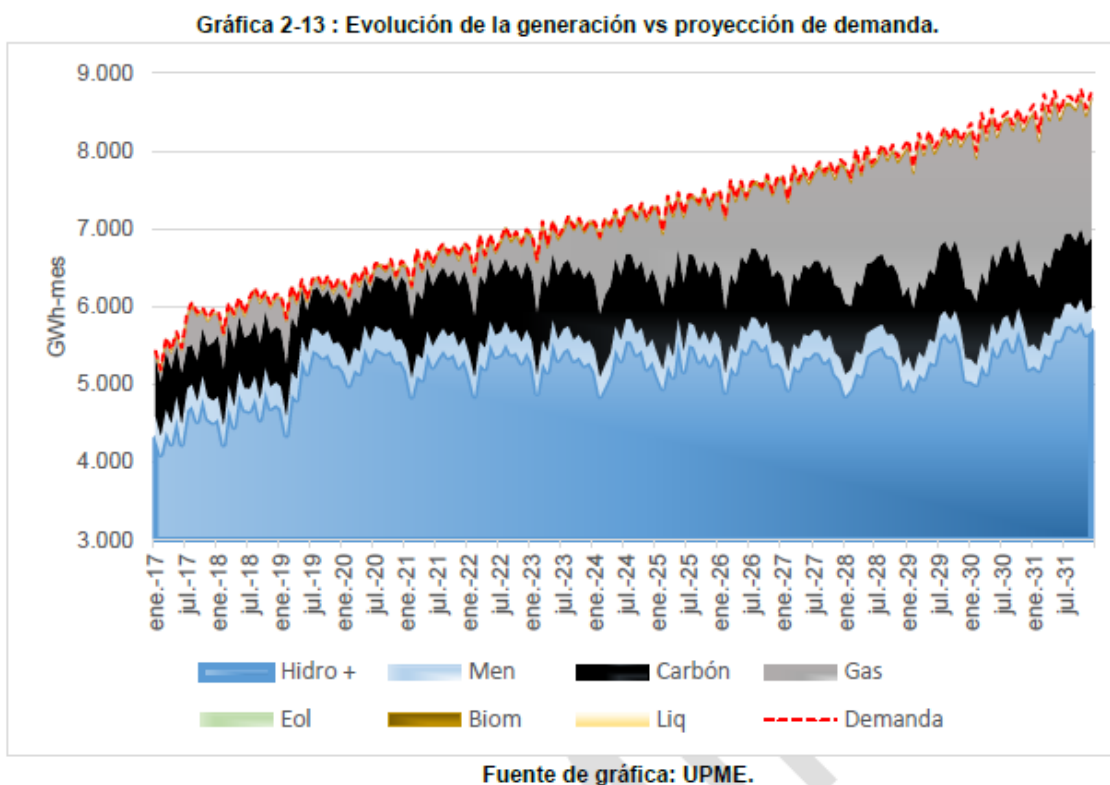
Colciencias, la UPME, universidades privadas y otras entidades han desarrollado proyectos que permiten lograr una mayor cobertura del fluido eléctrico en Zonas no Interconectadas del país mediante el uso de fuentes de energías renovables como la solar, eólica y biomasa.

Considerando las condiciones y ubicación geográfica del municipio SIPI se plantea implementar un sistema fotovoltaico utilizando como fuente principal el sol para la generación de energía eléctrica y así proveer el suministro de electricidad a todos los habitantes de esta población para mejorar las condiciones de vida que actualmente tienen las familias que habitan en SIPI, Choco.

#### 4. MARCO TEÓRICO

La electricidad es la forma de energía más usada en el mundo actualmente ya que nos permite disponer de luz en las noches, Transporte, adecuar la temperatura, acceso a medios de comunicación entre otros beneficios que la convierte en un servicio de primera necesidad en la actualidad. En Colombia para la generación de energía eléctrica se utilizan diferentes fuentes primarias como el agua, el carbón y en los últimos años se ha incursionado con fuentes alternativas como el sol, el viento y la Biomasa, en el siguiente cuadro se muestran las fuentes primaria más usada en nuestro país para la generación de energía eléctrica comparado con la creciente demanda de usuarios

Figura 2. Evolución de la generación vs proyección de demanda



Fuente: Diagnóstico de la prestación del servicio de energía eléctrica 2017

Las fuentes primarias más utilizadas en Colombia para la generación de energía eléctrica son el Agua, el carbón y el gas, con poca participación de fuentes alternativas como la

Eolia, Biomasa y solar. Esta última ha tomado gran importancia en nuestro país ya que es un recurso ilimitado y su implementación permite llegar a sitios muy lejanos a un costo muy competitivo comparado con otras fuentes de energía.

Colombia cuenta con un potencial positivo de energía solar fotovoltaica frente al resto del mundo; aunque se presentan variaciones, los datos evidencian que en todo el territorio el promedio de irradiación solar es alto (Eraso, 2006)

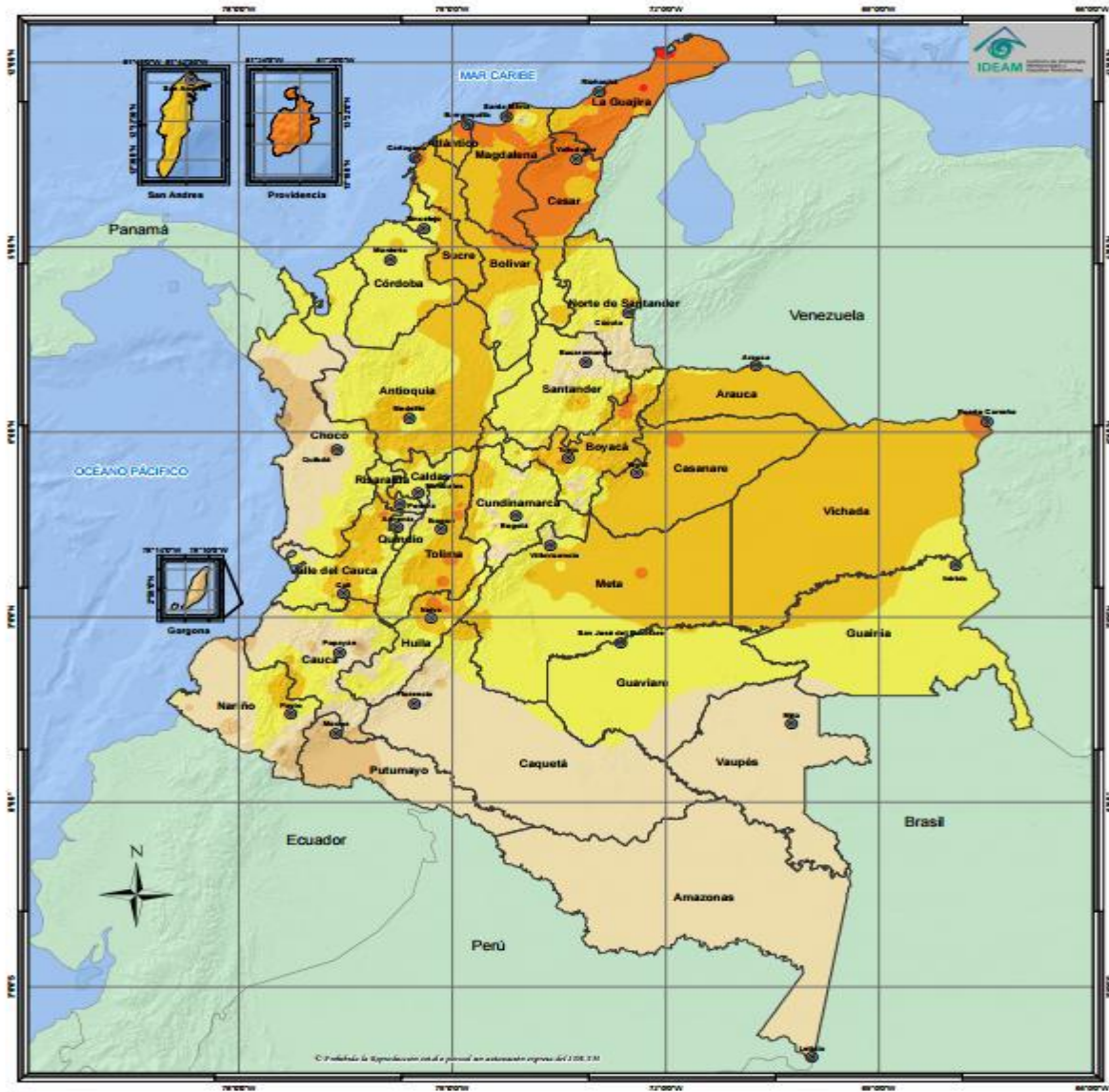
El mayor potencial en Colombia se encuentra en las regiones de la Costa Atlántica y Pacífica, la Orinoquía y la Región Central. Actualmente se encuentra el Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia, el cual busca mostrar e informar por medio de estaciones meteorológicas (información radiométrica) la disponibilidad de energía solar en el territorio nacional en cuanto a radiación solar global, insolación y brillo solar. Cuenta con 550 estaciones automáticas satelitales y convenciones localizadas en la extensión de país, de las cuales: 71 son directas, 383 se dedican a realizar medidas rutinarias de brillo solar y 96 se dedican a realizar mediciones de humedad relativa y temperatura. Variables que son correlacionadas con intensidad radiante sobre la superficie; En el caso de radiación solar global, se recolecta y estima información de todas las estaciones meteorológicas (550), en el caso de brillo solar, se toma información de 479 estaciones. (Atlas radiación solar de Colombia, 1993)

El atlas cuenta con 4 colecciones de 13 mapas sobre radiación solar y brillo solar, es generado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, conjuntamente con la Unidad de planeación Minero Energética – UPME; estableciendo niveles de Radiación e Irradiación promedio mensual y anual desde el año 1981, estos valores son expresados en kilovatios hora por metro cuadrado (kWh/m<sup>2</sup>), (Rodríguez, 1992)

En el caso específico se observa cómo la región pacífica, amazónica y el departamento de Nariño tienen promedios de insolación aceptables para la generación energética, la cual puede ser aprovechada por tecnologías de silicio amorfo de una manera más eficaz de la que lo harían las celdas de silicio mono o multi-cristalino [1]. Pues el silicio amorfo es económico y presenta buen rendimiento con baja radiación. Es importante recordar que por medio de las celdas fotovoltaicas cierta parte de la energía del sol se transforma

directamente en energía eléctrica, estas celdas están fabricadas de materiales semiconductores, ya que estos ofrecen menor resistencia al paso de la corriente eléctrica [16]. Las celdas se asocian y encapsulan en módulos fotovoltaicos generando una cantidad considerable de energía, sin embargo, para incrementar aún más dicha generación, se debe utilizar más de un módulo fotovoltaico lo que se denomina “campo solar fotovoltaico”

Figura 3. Mapa de radiación solar en Colombia





Fuente: Diagnóstico de la prestación del servicio de energía eléctrica 2017

Las celdas solares (fotovoltaicas) son dispositivos que absorben energía de los fotones presentes en la luz, que incide sobre ellas y la convierten en energía eléctrica. El efecto fotovoltaico ocurre en dispositivos en los cuales: a) en los materiales que los componen se generan portadores móviles de carga eléctrica mediante la adsorción de la energía de los fotones presentes en la luz y, b) existe, además, una barrera de potencial que permite separar a los portadores de carga de la región en que se generan

Las celdas solares fotovoltaicas son modulares, no tienen partes móviles, operan a temperatura ambiente, poseen una vida útil larga, responden tanto a la radiación directa como a la difusa y prácticamente no requieren de mantenimiento. Las celdas fotovoltaicas son unidades pequeñas y generan bajas potencias, por lo que su aplicación requiere la conexión eléctrica de varias de ellas y su encapsulamiento en una armazón que les proporcione soporte y protección, formándose así lo que se conoce como un módulo fotovoltaico. La fracción del área expuesta al sol de este último cubierta por las celdas solares está entre 75% y 90%, según su forma y distribución. Los módulos suelen reunirse en conjunto, que se denominan arreglos, para adecuar el

Las condiciones naturales en Colombia son favorables para la generación fotovoltaica y los niveles de radiación por región a lo largo del año son buenos. Como se puede evidenciar en la figura 1, La mayor parte de las ZNI y SIN en el país cuentan con un recurso de irradiación solar promedio de 194 W/m<sup>2</sup> y de radiación solar promedio de 4,5 kWh/m<sup>2</sup>/d, la cual supera el valor promedio mundial de 3,9 kWh/m<sup>2</sup>/d (5)

La energía evidentemente es el pilar del desarrollo de los procesos productivos, del progreso social de los países y elemento fundamental del avance tecnológico a nivel mundial. El sector eléctrico es uno de los más influyentes en la industria y en la cotidianidad del ser humano debido a que muchas de las actividades y procesos dependen de éste. Conociendo la gran importancia y la cantidad de aplicaciones de la electricidad, es de interés dar a conocer la situación actual de la generación de energía en Colombia y de las distintas tecnologías empleadas para su producción. (Castillo, 2015)

A pesar de que los recientes informes de instituciones internacionales han posicionado al país en el quinto lugar en cuanto a competitividad energética, es importante que Colombia continúe realizando proyectos para el avance del país en cuanto al desarrollo de FNCE, ya que se busca posicionar al país como líder en sustentabilidad energética, permitiendo que la matriz energética se diversifique a fin de lograr cada vez más que las ZNI cuenten con el suministro de energía eléctrica. En Colombia las entidades que hacen seguimiento a esta temática son la UPME y el IPSE, puesto que parte de su misión es hacer uso de las energías renovables para brindar soluciones energéticas de las ZNI (Castillo, 2015).

La energía solar es una de las alternativas más usadas para generar energía eléctrica en ZNI, según el Atlas de radiación solar de Colombia, el país cuenta con un recurso solar importante, se estima una irradiación promedio mensual que varía entre los 4 y 6 kWh/m<sup>2</sup>día, siendo las regiones de La Guajira, Arauca, parte del Vichada, las regiones de los valles del Río Cauca y del Río Magdalena y San Andrés y Providencia las de mayor recurso. Comparado con los porcentajes mundiales, Colombia se encuentra entre el 58 y 84% de los máximos registrados. Los sistemas fotovoltaicos es una de las soluciones más utilizadas para el suministro de energía eléctrica en ZNI, en el país existen sistemas fotovoltaicos aislados en las Zonas No Interconectadas (ZNI) para el empleo en telecomunicaciones y electrificación rural principalmente, se estima una potencia instalada de 9 MW.

La implementación de un SFV en la población SIPI ubicada en el departamento del Chocó puede ser la solución para el suministro de energía eléctrica durante 24 horas, la viabilidad técnica y económica plasmada en este trabajo podría ser la más óptima, teniendo en cuenta la dificultad de acceso, el costo de integrar SIPI al sistema interconectado nacional y la radiación solar en dicha población.

## **5. METODOLOGÍA.**

El modelo planteado para ZNI mediante la instalación de un sistema fotovoltaico requiere una serie de etapas con el fin de garantizar su correcto funcionamiento y obtener la solución esperada cubriendo la necesidad del suministro eléctrica en las poblaciones de las ZNI. La metodología considera aspectos como poblaciones no interconectadas al sistema eléctrico nacional, cantidad de habitantes, horas de suministro de electricidad y radiación solar, estas variables son necesarias para el diseño del modelo planteado. Basados en métodos cualitativos como análisis de documentos, proyectos ejecutados con un alcance similar y la experiencia propia de los integrantes de este trabajo en energías renovables.

La metodología desarrollada para generar el modelo de suministro de energía eléctrica mediante un sistema fotovoltaico es basada en la verificación del estado del arte en proyectos fotovoltaicos que han sido desarrollados en Colombia y el mundo, así como consulta en base de datos y artículos sobre el tema en donde es posible determinar el impacto social causado en las poblaciones beneficiadas por la instalación del sistema fotovoltaico; a su vez determinar las variables técnicas e insumos necesarios para la instalación y puesta en servicio.

La primera fase de la investigación fue recopilar información mediante las fuentes descritas en este documento, después se realiza un análisis de datos en donde se identifique los datos de entrada como la cantidad de horas de suministro de energía, número de habitantes en las poblaciones de estudio del modelo, radiación solar, carga instalada requerida y logística necesaria.

Tomando la información de entrada luego se procede a elaborar el estudio técnico y la viabilidad económica del proyecto, posteriormente es aplicado el **Modelo Suministro de Energía en ZNI** en la población de SIPI ubicada en el Chocó.

## 6. VARIABLES

A continuación, se relacionan las variables que se requieren en esta investigación: Población, habitante, energía, radiación solar, sistema fotovoltaico, Potencia, Voltaje, Corriente, políticas energéticas, costo anual equivalente y valor presente neto que permiten identificar la viabilidad técnico económico de la implementación de un sistema fotovoltaico en zonas no interconectadas

### 6.1 Población

Es un conjunto de seres vivos de una especie que habita en un determinado lugar. Se utiliza también para referirse al conjunto de viviendas, de forma similar al término 'localidad'. Procede del latín *populatio, -ōnis*.

### 6.2 Habitante

Persona que vive habitualmente en un lugar determinado y forma parte de su población.

### 6.3 Energía solar

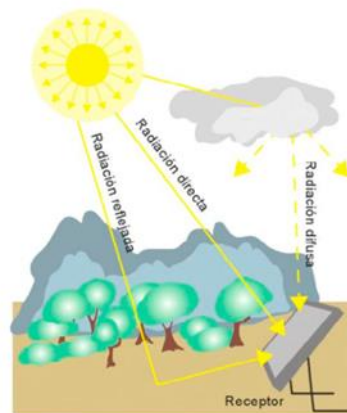
La energía solar se genera en el núcleo del sol a través un proceso de fusión. Esta energía es liberada en el espacio radialmente, viajando mediante ondas electromagnéticas. Por fuera de la atmósfera terrestre, se tiene una potencia promedio de 1.367 W/m<sup>2</sup>, siendo de gran importancia, puesto que “La energía solar que ingresa a la Tierra representa su principal fuente energética; el Sol proporciona el 99,97 % de la energía usada para todos los procesos naturales” (García, 2018).



## 6.4 Radiación solar

Es el conjunto de ondas electromagnéticas que llegan a la Tierra provenientes del Sol, se expresa en unidades de potencia por unidad de área ( $W/m^2$ ). La radiación solar que llega a la atmósfera no es constante, ya que depende de la distancia máxima y mínima que alcanza la Tierra durante su trayectoria alrededor del Sol; ésta varía entre  $1.325 W/m^2$  y  $1.412 W/m^2$ . La radiación solar se clasifica en tres formas: radiación directa, radiación difusa y radiación albedo (reflejada), las cuales se pueden observar en la Figura 4.

Figura 4. Componentes de la radiación solar sobre un plano inclinado



Fuente: Diagnostico de la prestación del servicio de energía eléctrica 2017

## 6.5 Sistema Fotovoltaico

El dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos depende de la situación geográfica del lugar en estudio pues ésta fija los datos de radiación solar, los cuales son de gran importancia para el dimensionamiento, teniendo en cuenta las pérdidas que puedan ocurrir, afectando así la eficiencia del sistema. (García, 2018).

## 6.6 Potencia Máxima o Potencia Nominal

Valor por el cual se clasifican comercialmente los paneles, y se especifica en condiciones de prueba estándar (STC acrónimo en inglés) de  $1.000 W/m^2$  a  $25^{\circ}C$ .

## **6.7 Voltaje de Máxima Potencia**

Valor alcanzado cuando el panel está en el punto de máxima potencia.

## **6.8 Corriente de Máxima Potencia**

Valor alcanzado cuando el panel está en el punto de máxima potencia.

## **6.9 Electricidad**

La electricidad es un conjunto de fenómenos producidos por el movimiento e interacción entre las cargas eléctricas positivas y negativas de los cuerpos físicos.

## **6.10 Políticas Energéticas**

Un problema global como lo es el cambio climático, es una situación que debe afrontarse con acciones a corto y largo plazo, por esta razón instituciones como la UPME, CREG, CIURE y el MME toman un rol importante en el país, promoviendo la investigación en centros educativos y otros agentes públicos y privados cuyo objetivo es plantear soluciones convenientes económicamente y a su vez eficientes dejando de lado los combustibles fósiles e implementando recursos hídricos, solares o eólicos, todo esto respaldado por la ley 143 de 1994 que establece a estas entidades la función de planeación de la utilización de las fuentes no convencionales de energía, el análisis tecnológico, la regulación del sector eléctrico en general, la ejecución de proyectos en sitios aislados y la adopción de planes.

## 7. HIPÓTESIS

El modelo planteado en este trabajo debe permitir el suministro de energía eléctrica en las poblaciones seleccionadas considerando que actualmente cuentan con electricidad por un periodo menor a 6 horas, la cantidad de habitantes similares, así como la radiación solar. El consumo de carga consumida es similar en todas las poblaciones teniendo en cuenta las condiciones económicas y la ubicación geográfica.

El modelo garantiza que pueda ser aplicado en las comunidades pertenecientes a zonas rurales no interconectadas las cuales son vulnerables por el escaso nivel educativo, el poco acceso a servicios públicos y la deficiente explotación de los recursos naturales ha impedido el correcto desarrollo social y tecnológico de las mismas.

La inversión del sistema fotovoltaico debe ser aplicada para cualquier población donde se desee implementar esta solución que brinde una mejor calidad de vida para los habitantes de dichas poblaciones.

El departamento con mayor número de municipios con ZNI es Chocó, con el 28,6%; seguido de Nariño, con el 14,3%, y Caquetá, con el 12,1%. En contraste, el mayor número de localidades con ZNI se invierte: Nariño ocupa el primer lugar, con el 38,8%; seguido de Chocó, con el 20,1%. Finalmente, el volumen de usuarios se distribuye en correlación con las localidades: así, Nariño presenta el mayor nivel, con 38,1%; seguido de Chocó, con el 11,4%, y Cauca, con un 11,4%. Con el fin de brindar soluciones a las necesidades mencionadas fue creado el instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas no Interconectadas (IPSE) , el objetivo de este instituto es identificar, promover, fomentar, desarrollar e implementar soluciones energéticas mediante esquemas empresariales eficientes, viables financieramente y sostenibles en el largo plazo, procurando la satisfacción de las necesidades energéticas de las Zonas no Interconectadas, ZNI, apoyando técnicamente en las entidades definidas por el Ministerio de Minas y Energía. (Jorge Acosta, 2008).

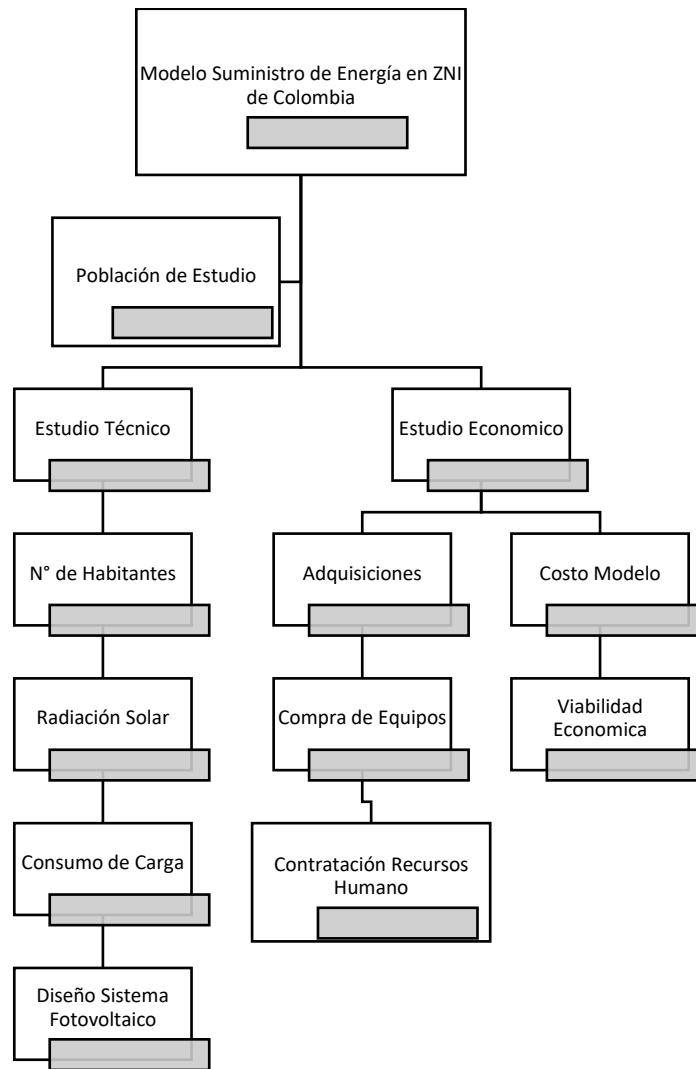
## 8. MODELO SUMINISTRO DE ENERGÍA EN ZNI

El desarrollo del modelo de suministro de energía eléctrica mediante un sistema fotovoltaico Estándar tiene considera los siguientes análisis:

1. *Análisis del Recurso Solar:* Basados en datos estadísticos del IDEAM o fuentes reconocidas se determina el nivel de radiación solar en el municipio de SIPI para determinar su potencial energético y dimensionar el tipo de equipos a instalar y su costo
2. *Análisis de la demanda:* Basados en información del DANE o fuentes reconocidas se determina la cantidad de habitantes en el municipio de SIPI, así como un estimado de los de los equipos eléctricos que tienen en sus hogares; con esta información se puede determinar un consumo promedio que nos va a permitir determinar la cantidad de equipos necesarios para cubrir la demanda básica
3. *Análisis Social:* se debe hacer un análisis de las condiciones socioeconómicas de la población de SIPI, y determinar si es posible por condiciones de orden público poder ingresar para instalar esta nueva tecnología y como la población está abierta al cambio
4. *Análisis Logístico:* Determinar los mejores costos para la adquisición de equipos, los transportes más económicos y rápidos; así como determinar rutas alternativas y seguras para el ingreso de equipos, personal técnico y logístico al municipio de SIPI ya que este debe ser por tierra y agua
5. *Análisis económico:* Con la radiación solar y la demanda conocida en el municipio de SIPI; podemos dimensionar la cantidad y tipo de equipos necesarios para cubrir la demanda básica, después entramos a considerar costos de transporte internacional y nacional, mano de obra para la instalación, costos de operación,

entrenamiento y mantenimiento, buscando tener un comparativo con el costo que paga SIPI por 6 horas de energía al día.

6. *Análisis para la instalación y puesta en marcha:* Se tiene en cuenta aspectos importantes como el área disponible para la instalación del sistema, la cual debe ser una zona donde la radicación solar sea máxima y que ofrezca seguridad para los equipos y el personal de mantenimiento, así mismo se contar con personal técnico capacitado para la instalación, entrenamiento y puesta en marcha del sistema



## 9. INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

### 9.1 Análisis De Datos Y Selección De Poblaciones Objetivo.

El instrumento de medición utilizado en este trabajo es el análisis documental, entre los cuales se tomó como base los datos de población registrados en el DANE de los principales municipios, corregimientos y pueblos de Colombia que no cuentan con suministro de energía eléctrica las 24 horas del día; así como estudios de radiación solar en estas Zonas tomado del IDEAM esto como base para dimensionar el consumo de energía eléctrica diaria promedio y poder establecer el alcance de la solución propuesta en términos de viabilidad técnica y económica, y de esta forma establecer el modelo de suministro de energía eléctrica mediante un sistema fotovoltaico que mejor aplica para estas poblaciones. Como documentación adicional de soporte se ha consultado artículos e investigaciones de trabajos desarrollados en el área de las energías alternativas y más específicamente energía fotovoltaica.

Como se definió en el capítulo anterior, las zonas no interconectadas (ZNI) por la topología y geografía de Colombia, se presentan en gran cantidad, es importante definir características comunes dentro de estas poblaciones (número de habitantes, horas de servicio de energía eléctrica por día, radiación solar en la zona) principalmente, que permitan unificar la necesidad de energía eléctrica para poder determinar un modelo de solución fotovoltaica que se pueda aplicar a muchas poblaciones, ayudando a mitigar dicha necesidad de manera más eficiente, ágil y económica.

Para lo anterior se requiere como primer paso, definir las poblaciones que por sus características comunes, mencionadas anteriormente, se puedan agrupar para generar su modelo. Según la base de datos obtenida con el listado de poblaciones catalogadas como zonas no interconectadas (ZNI), ya que se encuentran fuera del sistema nacional interconectado para el suministro de energía eléctrica. Se realizó un proceso de análisis y depuración con el fin de obtener el grupo de poblaciones con características similares, donde se pueda aplicar un modelo que permitiera obtener un diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica.

La base de datos cuenta con un total de 1688 poblaciones catalogadas como ZNI, de donde se obtiene información importante tal como: Cantidad de horas de suministro de energía eléctrica en dichas poblaciones, número de habitantes, y su ubicación específica. Esta base fue obtenida de la última información colgada en la página de datos del gobierno (<https://www.datos.gov.co>). La base se complementó con la información de radiación solar que se presenta en cada población, este fue un proceso manual, ya que se realizó la búsqueda población por población sobre el mapa de radiación solar de Colombia.

Resumen de la información importante presente en la base de poblaciones de ZNI.

1. Total de 1688 registros de poblaciones pertenecientes a ZNI.
2. Departamento.
3. Municipio.
4. Población o localidad.
5. Horas de servicio de energía eléctrica por día.
6. Cantidad de habitantes por población.
7. Número de familias.
8. Radiación solar en la población.

Como primer paso se realizó la caracterización de poblaciones agrupadas de acuerdo con la cantidad de hora de suministro de energía con la que cuentan por día, generando los siguientes grupos:

Tabla 1. Horas de servicio de energía eléctrica por día

Grupo	Horas de servicio de energía eléctrica por día
1	De 0 a 6 horas
2	De 7 a 12 horas
3	De 13 a 18 horas
4	De 19 a 24 horas

Fuente: elaboración de los autores



En la Tabla 1, se generó una nueva variable llamada Grupos de a 6 horas, realizando un análisis de frecuencias sobre dicha variable, se obtuvo los siguientes resultados

Figura 5. Grupos con consumo de energía inferior a 6 horas

**Estadísticos**

grupos de a 6 horas

N	Válido	1001
	Perdidos	687

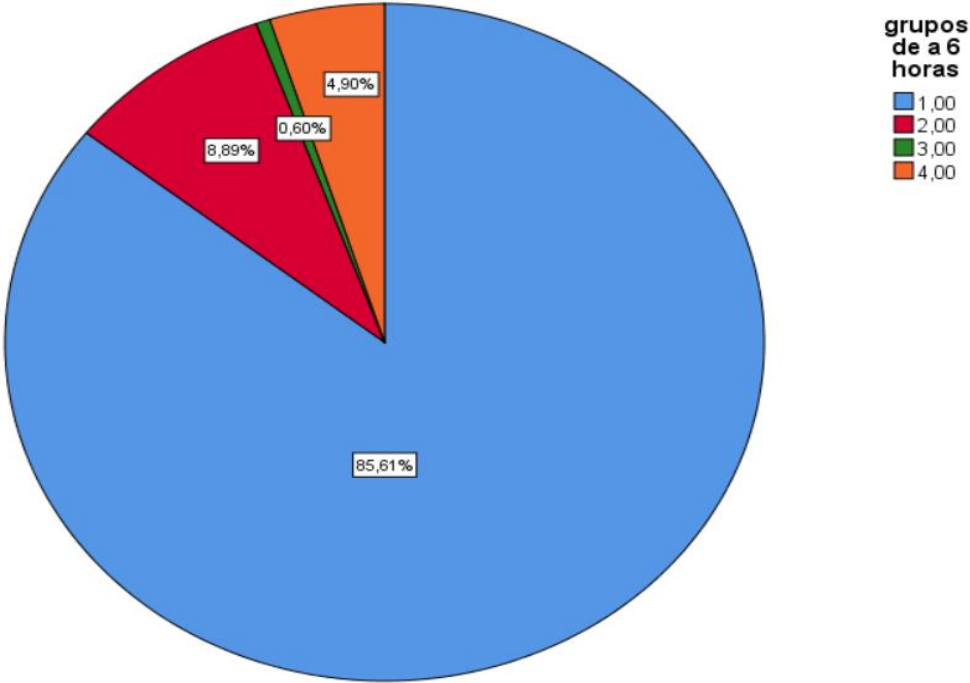
  

**grupos de a 6 horas**

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	1,00	857	50,8	85,6	85,6
	2,00	89	5,3	8,9	94,5
	3,00	6	,4	,6	95,1
	4,00	49	2,9	4,9	100,0
	Total	1001	59,3	100,0	
Perdidos	Sistema	687	40,7		
Total		1688	100,0		

Fuente: Diagnostico de la prestación del servicio de energía eléctrica 2017

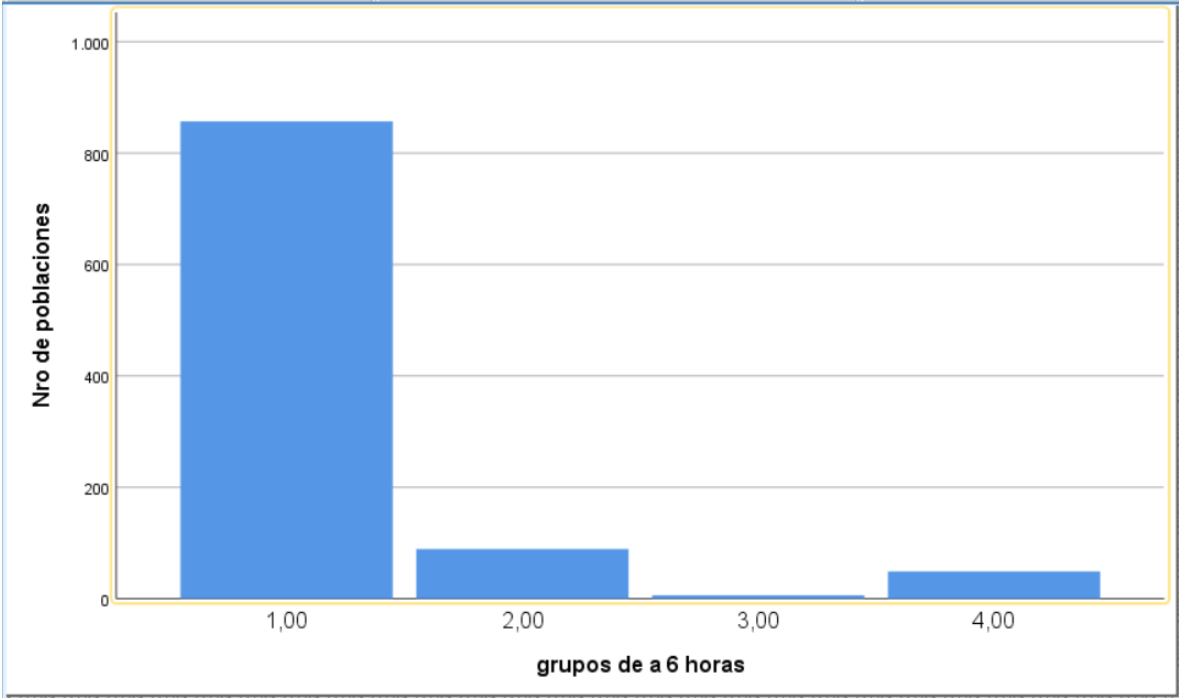
Figura 6. Porcentaje en horas de suministro de energía eléctrica en las ZNI



Fuente: Elaborada por los autores

En la figura 5 y 6, se evidencia el total de poblaciones en ZNI, el cual es de 1688, de las cuales lamentablemente el 40.7 % equivalente a 687 poblaciones, no se tiene información de cuantas horas al día cuentan con suministro de energía eléctrica, el restante 59.3 % equivalente a 1001 poblaciones de las cuales si se tiene la información del número de horas suministro de energía eléctrica por día, se encuentran distribuidas de la siguiente forma:

Figura 7. Comparativo número de poblaciones en grupos de suministro de 6 horas



Fuente: Elaborada por los autores

En la figura 7, Se visualiza la muestra valida de 1001 poblaciones, 857 equivalentes al 85.6% cuentan con un suministro de energía eléctrica de 0 a 6 horas por día, 89 poblaciones equivalentes al 8.9% cuentan con un suministro de energía eléctrica de 7 a 12 horas por día, 6 poblaciones equivalentes al 0.6% cuentan con un suministro de energía eléctrica de 13 a 18 horas y el restante de 49 poblaciones equivalentes al 4.9% cuentan con un suministro de energía eléctrica de 19 a 24 horas por día, como se evidencia en estos datos presentados la mayoría de las poblaciones tienen un suministro de energía eléctrica muy limitado por día, por tal motivo serán el centro de estudio, para el desarrollo del modelo de suministro de

energía eléctrica mediante un sistema fotovoltaico, ya que se puede atacar la necesidad más grande con relación al suministro de energía eléctrica en ZNI.

Posterior a obtener la muestra de 857 poblaciones con suministro de 0 a 6 horas de energía eléctrica por día, se determinó un siguiente parámetro que fue la cantidad de habitantes que tiene cada población, Para tal fin se determinó que el modelo de suministro de energía eléctrica mediante un sistema fotovoltaico, se centraría en cubrir poblaciones que tuvieran una cantidad de habitantes significativa, se eligió tomar el rango de poblaciones con un número de habitantes entre 90 y 110. Se escoge este rango ya que permite cubrir un buen número de poblaciones de las ZNI igualmente un buen número de habitantes y familias.

Tabla 2. Comparativo número de poblaciones y familias

Horas/día Suministro energía eléctrica	Numero de poblaciones	Número de usuarios	Número de familias
0	6	570	114
3	1	90	18
4	21	2073	414,6
5	31	2994	598,8
6	14	1397	279,4
<b>Total general</b>	<b>73</b>	<b>7124</b>	<b>1424,8</b>

Fuente: Elaborada por los autores

Figura 8. Comparativo cantidad de habitantes y suministro de energía diario



Fuente: Elaborada por los autores

En la tabla 2 y grafica 8 se evidencian un total de 73 poblaciones que están dentro de rango de 0 a 6 horas de suministro de energía eléctrica y que cuentan con un número de habitantes entre 90 y 110 personas, equivalente aproximado a 7124 personas y 1424 familias.

Por último, para determinar las poblaciones objeto de estudio para el modelo de suministro de energía eléctrica mediante un sistema fotovoltaico, se evaluó el nivel de radiación solar, se buscó lugares de esas 73 poblaciones, que tuvieran características similares de radiación solar, definiendo un rango dentro del cual el modelo tuviera valides.

Se optó por tomar poblaciones con una radiación solar entre 3.6 y 3.8 Kwh/m2/dia, obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 3. Índice de radiación solar en ZNI

DEPARTAM	MUNICIPIO	LOCALIDAD	HORAS_DI	USUARIOS	RADIACION	FAMILIAS
CAUCA	GUAPI	CALLELARGA	6	110	3,7	22
CAUCA	GUAPI	SOLEDAD	6	110	3,7	22
CAUCA	GUAPI	URIBE URIBE	4	110	3,7	22
CAUCA	LÓPEZ DE MIC	LA CAPILLA	4	105	3,65	21
CAUCA	LÓPEZ DE MIC	LAS PAVAS NA	6	98	3,65	19,6
CAUCA	LÓPEZ DE MIC	SAN FRANCISCO	5	94	3,65	18,8
NARIÑO	EL CHARCO	EL CASTIGO	5	108	3,76	21,6
NARIÑO	EL CHARCO	SALTO MAGDA	5	104	3,76	20,8
NARIÑO	EL CHARCO	BELLAVISTA-P	5	90	3,76	18
NARIÑO	EL CHARCO	BRAZO SECO	5	95	3,76	19
NARIÑO	EL CHARCO	MAIZ BLANCC	5	93	3,76	18,6
NARIÑO	EL CHARCO	CHACHAJO	3	90	3,76	18
CAUCA	LÓPEZ DE MIC	NAYITA	4	98	3,65	19,6
CAUCA	GUAPI	ALFONSO LOF	6	110	3,7	22
NARIÑO	EL CHARCO	ESTERO MART	5	91	3,76	18,2
NARIÑO	EL CHARCO	ROSARIO (GAI	5	102	3,76	20,4
CAUCA	GUAPI	PENITENTE	4	90	3,7	18
NARIÑO	EL CHARCO	MAGDALENA	5	92	3,76	18,4
CAUCA	GUAPI	EL CARMELO	4	103	3,7	20,6
CHOCÓ	SIPI	BARRANCON	4	105	3,7	21
CHOCÓ	NOVITA	CARMEN DE S	5	90	3,65	18
NARIÑO	EL CHARCO	MORANA	5	92	3,76	18,4
NARIÑO	EL CHARCO	LA CAPILLA	5	98	3,65	19,6

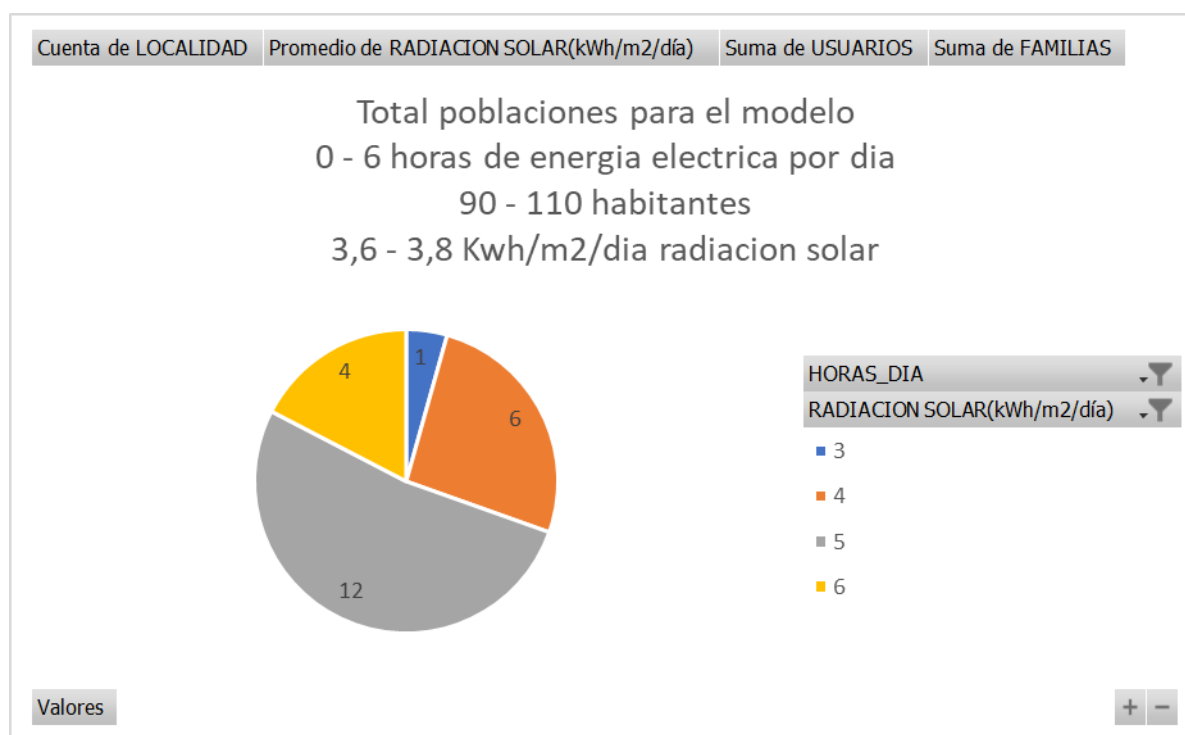
Fuente: Elaborada por los autores.

Tabla 4. Promedio Radiación Solar ZNI

Horas/día suministro de energía eléctrica	Numero de poblaciones	Promedio de RADIACION SOLAR (kWh/m2/día)	Número de usuarios	Número de familias
3	1	3,76	90	18
4	6	3,68	611	122,2
5	12	3,73	1149	229,8
6	4	3,69	428	85,6
<b>Total general</b>	<b>23</b>	<b>3,71</b>	<b>2278</b>	<b>455,6</b>

Fuente: Elaborada por los autores

Figura 9. Promedio de radiación solar con respecto a la cantidad de habitantes



Fuente: Elaborada por los autores

De la tabla 3 y 4 y la gráfica 9 se obtiene un total de 23 poblaciones que cumplen con la caracterización específica para que se ajusten al modelo de suministro de energía

eléctrica mediante un sistema fotovoltaico diseñado, estas 23 poblaciones están conformadas por 2278 habitantes y un aproximado de 455 familias de 5 personas.

Con el objetivo de validar el modelo que puede servir como solución para el suministro energía eléctrica a estas 23 poblaciones caracterizadas, a través de la energía fotovoltaica, se tomara la población Barracón del municipio de Sipi, departamento del Chocó, la cual tiene las siguientes características:

- Población 105 habitantes.
- 21 familias aproximadamente de 5 personas.
- 4 horas de suministro de energía eléctrica por día.
- Radiación solar 3.7 Kwh/m<sup>2</sup>/día.

Figura 10. Identificación del municipio de SIPI



En la figura 10, se observa la ubicación geográfica sobre en mapa de Colombia y el departamento del choco del municipio de Sipi.

## 9.2 Análisis Técnico - Económico

El análisis técnico económico se elaboró tomando como base la población del municipio de SIPI y el consumo diario promedio de cada familia. Con base en esto se estimó el consumo mensual promedio y se calculó los equipos e insumos necesarios para la instalación del sistema fotovoltaico

A continuación, una descripción del método utilizado para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico:

Este método utiliza valores medios mensuales diarios de radiación global y de la carga. En este caso se considerarán sólo los valores correspondientes al mes más desfavorable en la relación carga/radiación. Además, hay que definir el número máximo de días de autonomía previstos para la instalación, N, en función de las características climatológicas de la zona y de la aplicación o uso final de la instalación.

La energía diaria teórica requerida (carga diaria) se calcula sumando el producto entre la potencia de cada aparato o elemento de consumo por el tiempo medio diario de funcionamiento de cada uno. Normalmente es suficiente con determinar el valor medio mensual del consumo diario, lo que equivale a suponer un valor de la carga diaria en Wh para cada mes. Se suelen separar los consumos en corriente continua de los consumos en corriente alterna, pues están afectados de factores de pérdidas distintos.

La energía real necesaria, L, se calcula teniendo en cuenta las eficiencias de los distintos subsistemas y las pérdidas. Así:

$$L = \frac{L_{cc}}{\eta_g} + \frac{L_{ca}}{\eta_g \eta_{inv}}$$

Donde:

L<sub>cc</sub>: carga diaria en corriente continua

L<sub>ca</sub>: carga diaria en corriente alterna

η<sub>g</sub>: eficiencia carga descarga de la batería

$\eta_{inv}$ : eficiencia media diaria del inversor del inversor

Con esta energía se calcula el tamaño del sistema de acumulación, de acuerdo con la expresión

$$CB^* = \frac{LN}{DOD \eta_c}$$

CB \*: es la capacidad de la batería, en Wh

L: es la energía real necesaria

N: número de días de autonomía

DOD: máxima profundidad de descarga de la batería

$\eta_c$ : pérdidas en los cables

El tamaño del sistema de acumulación, en Ah, se obtiene a partir de CB \*, dividiendo este valor por el voltaje nominal de la batería:

$$CB = \frac{CB^*}{V}$$

- V es la tensión nominal de la batería

El tamaño del campo de paneles, o potencia pico de la instalación, se calcula teniendo en cuenta el concepto de Horas de Sol Pico (HSP): es el número de horas de sol en media diaria a una intensidad de 1000 W/m<sup>2</sup> . Es equivalente a la energía total diaria incidente sobre una superficie horizontal en kWh/m<sup>2</sup> /día:

$$HSP = Gdm(\alpha, \beta)$$



Donde  $G_{dm}(\alpha, \beta)$  está en kWh/m<sup>2</sup>/día. (Así por ejemplo para Madrid en el mes de diciembre y a 50 grados orientado al sur si  $G_{dm}(0, 50) = 3.6$  kWh/m<sup>2</sup>/día, entonces el número de horas de sol

Pico es igual a 3.6,

HSP=3.6.

Se utiliza el valor de HSP para el mes más desfavorable. Con este valor, y teniendo en cuenta los vatios pico de un panel se calcula el número de paneles necesario, de acuerdo con la expresión.

$$N^{\circ} \text{ paneles} = \frac{L}{W_p(HSP)_{\alpha, \beta}(1 - \eta_d)}$$

donde:

- L es la energía diaria real necesaria,
- $W_p$  los vatios pico por panel,
- $(HSP)_{\alpha\beta}$  son las horas de sol pico incidentes sobre el plano de los
- Paneles ( $\beta$  indica la inclinación sobre la horizontal y  $\alpha$  la orientación respecto del sur)
- $\eta_d$  es un factor global de pérdidas que se producen en el generador fotovoltaico.

En este factor global de pérdidas están contempladas las pérdidas por conexionado y dispersión de parámetros, las pérdidas debidas al punto de trabajo del sistema, que no es el punto de máxima potencia de los paneles. Contempla también la disminución de potencia entre la nominal y la real de los módulos. En este punto hay que recordar que los fabricantes aseguran una potencia pico nominal  $\pm 10\%$ . Teniendo en cuenta todos estos factores las pérdidas de potencia del generador son al menos de un 25 %.

Tabla 5. Cálculo de variables para el diseño del sistema fotovoltaico.

Descripción	Cantidad	Unidad de Medida
N° Habitantes	105	
N° Familias	26	
Consumo diario Promedio/Vivienda	1.650	W
Radiación solar promedio diaria	3,70	kWh/m2/día
Potencia del Sistema	43.313	W
Potencia Aparente	39	KVA
Potencia por panel	250	W
Cantidad de paneles	173	
Factor de Potencia	0,9	
Corriente Nominal Sistema	1878	Amp
Voltaje Nominal Sistema	12	V
Voltaje de Baterías	12	V
Corriente de Baterías	200	Amp
Cantidad de Baterías	9	

Fuente: Elaborada por los autores

En la tabla 5, se muestra los parámetros necesarios para realizar el diseño del sistema fotovoltaico en la población estudio de validación del modelo de suministro de energía eléctrica mediante un sistema fotovoltaico.

Tabla 6. Consumo diario promedio de equipos en las viviendas

consumo diario promedio de equipos		
Equipo	Potencia [W]	Uso diario
Dispositivos de Iluminación	50	3-4 horas
Televisión	300	3-4 horas
Reproductor DVD – BlueRay	30	1 hora
Lavadora A++	700	1 hora
Secadora	2000	1 hora
Aspiradora	1200	1 hora
Aire Acondicionado	1800	3 horas
Ordenador	250	4 horas
Nevera	200	4 horas
Cocina Vitrocerámica	1500	1 hora
Horno Microondas	1500	0,5 horas
Lavavajillas	1100	1,5 horas
Congelador	250	4 horas

Fuente: Elaborada por los autores

La tabla 6, se listan los principales electrodomésticos y equipos del hogar, su potencia y las horas de uso por día, información necesaria para determinar el consumo de energía eléctrica por día en promedio de un hogar.

Tabla 7. Equipos a Instalar (12)

Equipos de Instalación	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Transformador 50 kVA	1	\$ 3.500.000	\$ 3.500.000
Regulador de carga solar	1	\$ 146.990	\$ 146.990
Banco de Baterías 12 V en paralelo	9	\$ 853.000	\$ 7.677.000
Cable # 12 control (rollo 100m)	10	\$ 190.000	\$ 1.900.000
cable # 6 fuerza (rollo 100m)	20	\$ 250.000	\$ 5.000.000
Panel solar modelo 250 W	173	\$ 686.070	\$ 118.690.110
Computador	1	\$ 2.500.000	\$ 2.500.000
Inversor IC600-E24S120 Invercom (3000 W)	3	\$ 1.438.750	\$ 4.316.250
<b>Total</b>			<b>\$ 143.730.350</b>

Fuente: Boletín solar fotovoltaica Autónoma, Sund fields Europe

En la tabla 7, se indican cada uno de los materiales y equipos necesarios para el montaje del sistema de suministro de energía fotovoltaico, se indica su precio individual y el precio total de los mismos.

Tabla 8. Obras físicas para la instalación del sistema fotovoltaico

OBRAS FISICAS					
Item Construcción	Und. Medida	especificacion Tecnica	Tamaño	costo Unitario	costo Total
Bodega	m2	Hormigon	80	\$ 750.000	\$ 60.000.000
Escritorio	m2	Madera	2	\$ 400.000	\$ 800.000
Cuarto de control	m2	Estructura Metalica	25	\$ 400.000	\$ 10.000.000
oficina Administrativa	m2	Hormigon	20	\$ 300.000	\$ 6.000.000
servicio Auxiliares	m2	Hormigon	12	\$ 500.000	\$ 6.000.000
Sillas	UND	Plastico	5	\$ 20.000	\$ 100.000
Adecuacion terreno	m2	Hormigon	2500	\$ 20.000	\$ 50.000.000
Total				\$ 2.390.000	\$ 132.900.000

Fuente: Elaborada por los autores

En la tabla 8, se describen las obras físicas que se deben realizar para la instalación del sistema de suministro de energía eléctrica mediante el sistema fotovoltaico que se deben realizar y el costo que estas conllevan.

Tabla 9. Costos asociados a personal para la instalación del sistema fotovoltaico

<b>BALANCE DE PERSONAL</b>					
<b>Cargo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Remuneracion Total</b>	<b>Remuneracion Total M</b>	<b>duracion contrato mes</b>	<b>total contrato</b>
Director del Proyecto	1	\$ 5.000.000	\$ 5.000.000	6	\$ 30.000.000
Programador de Equipos	1	\$ 4.000.000	\$ 4.000.000	2	\$ 8.000.000
Ingeniero Electricista	1	\$ 3.500.000	\$ 3.500.000	6	\$ 21.000.000
Tecnicos en Instalaciones	2	\$ 1.600.000	\$ 3.200.000	3	\$ 9.600.000
Ingeniero Civil	1	\$ 3.500.000	\$ 3.500.000	7	\$ 24.500.000
Ingeniero ambiental	1	\$ 3.500.000	\$ 3.500.000	3	\$ 10.500.000
Personal operativo	2	\$ 1.200.000	\$ 2.400.000	6	\$ 14.400.000
contador	1	\$ 3.000.000	\$ 3.000.000	6	\$ 18.000.000
secretaria	1	\$ 1.500.000	\$ 1.500.000	6	\$ 9.000.000
Vigilante	1	\$ 1.000.000	\$ 1.000.000	6	\$ 6.000.000
<b>Total</b>		<b>\$ 23.300.000</b>	<b>\$ 30.600.000</b>		<b>\$ 151.000.000</b>

Fuente: Elaborada por los autores

En la tabla 9, se indican los costos asociados al personal necesario para ejecutar las obras y montaje del sistema fotovoltaico para la generación de energías eléctrica.

Tabla 10. Balance de Insumos

<b>BALANCE INSUMOS</b>	
<b>INSUMO</b>	<b>COSTO</b>
Energia Solar	<b>0</b>
Medidores de energia	\$ 1.000.000
Mantenimiento de Equipos	\$ 1.464.000
Capacitacion	\$ 300.000
Telefonia convencional	\$ 240.000
servicios Publicos Mensual	\$ 200.000
Gastos de Publicidad	\$ 300.000
<b>Total Anual</b>	<b>\$ 3.504.000</b>

Fuente: Elaborada por los autores

La tabla 10, menciona los insumos que se contemplan para que el sistema fotovoltaico, funcione de la manera adecuada y pueda suplir las necesidades de energía eléctrica en la población del Sipi.

Tabla 11. Comparativo inversión y tiempo de recuperación de la inversión

<b>Total Inverison Proyecto</b>	<b>347508870</b>
Gasto Mensual de Planta Diesel	\$ 10.800.000
GastoAnual de Planta Diesel	\$ 129.600.000
tiempo recuperacion de Inversion en años	<b>2,68</b>

Fuente: Elaborada por los autores

En la tabla 11, se muestra los gastos de dinero actuales de la población por motivo de generación de energía eléctrica con combustibles fósiles como lo es el diesel, y el tiempo de recuperación de la inversión al montar el sistema fotovoltaico de generación de energía.

## 10 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El suministro de energía eléctrica depende directamente de la radiación solar sobre la zona en la cual sea instalado los paneles solares y la capacidad de almacenamiento de energía de estos.
- El modelo desarrollado para el suministro de energía eléctrica mediante un sistema fotovoltaico, permite solucionar un problema de cobertura a nivel energético, permitiendo llegar con una sistema de suministro de energía eléctrica a varias poblaciones a la vez realizando un único diseño, los cual permite mayor agilidad y menores costos a la hora de implementar dichos sistemas.
- La implementación del sistema fotovoltaico en el municipio de SIPI es viable ya que cuenta con las condiciones básicas para su instalación.
- La inversión necesaria para la instalación y puesta en marcha del sistema fotovoltaico en el municipio de SIPI es recuperada en 2,68 años en referencia con el costo de energía eléctrica actual utilizado mediante planta Diesel.
- El modelo de suministro de energía eléctrica mediante un sistema fotovoltaico propuesto es aplicable para las poblaciones analizadas y más exactamente en el municipio de SIPI ya que cumplen con las condiciones ambientales y territoriales necesarias para la instalación del sistema.

## RECOMENDACIONES

1. Evaluar la proyección a 20 años de aumento de carga en la población de SIPI para la instalación de un sistema fotovoltaico que garantice soportar la creciente demanda.
2. Establecer planes de financiamiento con empresas públicas y privadas que puedan apoyar económicamente el desarrollo del proyecto garantizando el suministro de energía eléctrica en poblaciones no interconectadas al sistema eléctrico nacional.
3. Realizar un plan de capacitación y mantenimiento a los habitantes de las poblaciones donde sea implementada esta solución con el fin de preservar los equipos y el funcionamiento del sistema fotovoltaico que garanticen la vida útil en el tiempo estipulado.
4. Implementar este tipo de sistemas a gran escala puede generar ahorros en la compra, diseño y operación del sistema teniendo en cuenta la cantidad de poblaciones que serían beneficiadas con este servicio.

## 11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

IPSE. (s.f.). [SOLUCIONES ENERGÉTICAS PARA LAS ZONAS NO INTERCONECTADAS DE COLOMBIA]. Recuperado 1 julio, 2014, de <https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/742159/09C-SolucionesEnergeticasZNI-IPSE.pdf/2871b35d-eaf7-4787-b778-ee73b18dbc0e>

GÓMEZ, N. G. NATALIA ESTEVE. (s.f.-b). ENERGIZACIÓN DE LAS ZONAS NO INTERCONECTADAS A PARTIR DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES SOLAR Y EÓLICA. Recuperado de <https://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/eambientales/tesis121.pdf>

FORERO ZUÑIGA, D. F. DIANA LUCIA, VEGA ARANGO, E. V. EDGAR EDUARDO, & BARRERO GONZALEZ, J. G. JUAN FERNANDO. (2016). DISEÑO, INSTALACIÓN,

IMPLEMENTACIÓN Y PUESTA EN SERVICIO DE UN SISTEMA DE ENERGÍA ALTERNATIVO FOTOVOLTAICO EN LA COMUNIDAD INDIGENA WAYUU DIVIDIVI EN EL DEPARTAMENTO DE LA GUAJIRA. Recuperado de <http://polux.unipiloto.edu.co:8080/00003273.pdf>

SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS. (2018, 7 diciembre). ZONAS NO INTERCONECTADAS – ZN, DIAGNÓSTICO DE LA PRESTACIÓN DEL SERVICIO DE ENERGÍA ELÉCTRICA. Recuperado 14 marzo, 2019, de [https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Publicaciones/Publicaciones/2018/Dic/diag\\_zni\\_2018\\_7122018.pdf](https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Publicaciones/Publicaciones/2018/Dic/diag_zni_2018_7122018.pdf)

Julián Vivas, J. V. (2019, 12 febrero). El mapa de 1.710 poblados que aún se alumbran con velas en Colombia. Recuperado 15 marzo, 2019, de <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/los-lugares-que-aun-viven-sin-energia-electrica-en-colombia-325892>.