



**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO, PLANEACIÓN Y  
CONSTRUCCIÓN DE UN PROYECTO PILOTO DE ENERGÍA SOLAR  
FOTOVOLTAICA PARA EL RESGUARDO INDÍGENA POCHARCO, UBICADO EN  
EL MUNICIPIO DE NATAGAIMA - DEPARTAMENTO DEL TOLIMA.**

**AUTORES**

ERNERY FERIA

LEONARDO OJEDA

Universidad EAN  
Facultad de Ingeniería  
Programa de Maestría en Gerencia de Proyectos  
Bogotá D.C., Colombia  
2021

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO, PLANEACIÓN Y  
CONSTRUCCIÓN DE UN PROYECTO PILOTO DE ENERGÍA SOLAR  
FOTOVOLTAICA PARA EL RESGUARDO INDÍGENA POCHARCO, UBICADO EN  
EL MUNICIPIO DE NATAGAIMA - DEPARTAMENTO DEL TOLIMA.**

**AUTORES**

ERNERY FERIA

LEONARDO OJEDA

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

**Magister en Gerencia de Proyectos**

**Director:**

Camilo Mejía Moncayo

**Modalidad:**

Trabajo Dirigido

Universidad EAN

Facultad de Ingeniería

Programa de maestría en Gerencia de Proyectos

Bogotá D.C., Colombia

2021

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

Firma del jurado

---

---

---

Firma del jurado

Firma del director del trabajo de grado

Bogotá D.C. Día - mes – año

## Dedicatoria

Principalmente a Dios a quien le debemos la vida y toda fuente de inspiración.

A mi familia por ser incondicional y estar siempre a mi lado acompañándome en cada uno de mis retos.

Leonardo Ojeda

A mi madre **Hilda María Valdés Martínez**, por ser ejemplo de lucha, constancia y dedicación en todo lo que emprende.

A mi hija **Valentina Avila Feria**, para que sea un motivo inspirador en la consolidación de sus sueños y por ser muy especial en mi vida, la cual me inspira día a día y me ofrece la oportunidad de compartir mis sueños e inquietudes con ella. Y a mis otros hijos que me impulsa a ser mejor cada día para ser su ejemplo de superación.

A mi Novio, por el apoyo incondicional, gracias por contribuir con su conocimiento mediante valiosos aportes y por su motivación día a día para finalizar mi tesis de grado.

Ernery Feria

## **Agradecimientos**

A Dios por ser nuestra ayuda, guía y consuelo en todo momento y por darnos la fuerza y sabiduría para culminar tan importante etapa en nuestra vida.

A nuestro director de proyecto Ing. Camilo Mejia, por brindarnos su guía y compartir su conocimiento y experiencia en el desarrollo de este trabajo.

Leonardo Ojeda

Finalizado este trabajo, deseo manifestar mi más sincero agradecimiento a todas aquellas personas que, de una u otra forma, han colaborado en su elaboración.

Primeramente, le agradezco a mi **DIOS**, por darme esa fuerza, energía, dirección y sabiduría, para seguir cumpliendo todos mis sueños, y este es un logro más.

Al Alcalde del municipio de Natagaima David Mauricio Andrade Ramírez, por haberme dado la oportunidad de realizar este proyecto y por formar parte de un valioso equipo de trabajo.

Al Secretario de Planeación del municipio de Natagaima el Dr. Virgilio Rojas Guluma, porque gracias a su apoyo fue posible el desarrollo de este trabajo de investigación, dispuesto aclararme cualquier duda.

A Jeniffer Andrea Orjuela Ortiz, por apoyarme en el cumplimiento de mis objetivos, por estar siempre allí, por su motivación, siempre estaré agradecida.

A mi Padre Ernesto Feria García y mi hermana Erlyzeth Feria Valdés por su cariño y respaldo, sus palabras y ejemplo son mi alimento para continuar cosechando éxitos y compañera de vivencias.

Ernery Feria

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO,  
PLANEACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROYECTO  
PILOTO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA EL  
RESGUARDO INDÍGENA POCHARCO, UBICADO EN EL  
MUNICIPIO DE NATAGAIMA - DEPARTAMENTO DEL  
TOLIMA.**

### **Resumen**

La energía solar es la más abundante, limpia, y económica fuente de energía renovable disponible. Colombia gracias a su posición geográfica puede contar con este recurso todo el año en niveles suficientes para generar energía eléctrica. Esto representa una ventaja para poder brindar soluciones energéticas a comunidades aisladas que se ubican en las zonas no interconectadas al sistema eléctrico nacional. Este es el caso de la comunidad indígena Pocharco del municipio de Natagaima en el departamento del Tolima, para la cual en este proyecto se definió un estudio de factibilidad para el diseño, planeación y construcción de un proyecto piloto de energía solar fotovoltaica para dicha comunidad. El proyecto se desarrolló bajo la metodología del MGA o Metodología General Ajustada la cual nos aportó sus procesos los cuales están conformados por la identificación, preparación, evaluación y programación del proyecto. Así mismo también se tuvo en cuenta la metodología de GPM o Green Project Management, la cual tiene en cuenta los factores ambientales como elementos importantes en los resultados finales de un proyecto. El estudio de factibilidad logrado cumple con los estándares del estado colombiano para un proyecto de inversión, lo cual permitirá en un futuro su presentación por parte de los respectivos entes territoriales para su posterior implementación.

**Palabras clave:** Estudio de factibilidad, Energía solar fotovoltaica, Comunidad Indígena, MGA o Metodología General Ajustada.

### **Abstract**

Solar energy is the most abundant, cleanest, and cheapest source of renewable energy available. Thanks to its geographical position, Colombia can count on this resource all year round at sufficient levels to generate electricity. This represents an advantage to provide energy solutions to isolated communities that are located in areas not interconnected to the national electricity system. This is the case of the Pocharco indigenous community of the municipality of Natagaima in Tolima's department. In this project, a feasibility study was defined for designing, planning, and constructing a photovoltaic solar energy pilot project for said community. The project follows the MGA methodology, which provided us with its processes made up of the project's identification, preparation, evaluation, and programming. Likewise, the GPM into account, which considers environmental factors as important elements in the final results of a project. The feasibility study achieved complies with the Colombian state's standards for an investment project, which will allow its presentation by the respective territorial entities for its subsequent implementation in the future.

**Keywords:** Feasibility study, Photovoltaic solar energy, Indigenous Community, MGA or Adjusted General Methodology, GPM Green Project Management.

## Tabla de contenido

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>14</b>
<b>2.</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1.</b>	<b>OBJETIVO GENERAL .....</b>	<b>16</b>
<b>2.2.</b>	<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>	<b>16</b>
<b>3.</b>	<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>17</b>
<b>3.1.</b>	<b>ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.....</b>	<b>17</b>
<b>3.2.</b>	<b>PREGUNTA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>18</b>
<b>3.3.</b>	<b>VARIABLES DEL PROBLEMA .....</b>	<b>18</b>
<b>3.3.1.</b>	<b>VARIABLES INDEPENDIENTES.....</b>	<b>18</b>
<b>3.3.2.</b>	<b>VARIABLES DEPENDIENTES .....</b>	<b>18</b>
<b>4.</b>	<b>JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>19</b>
<b>5.</b>	<b>MARCO DE REFERENCIA .....</b>	<b>20</b>
<b>5.1.</b>	<b>PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO .....</b>	<b>20</b>
<b>5.2.</b>	<b>EL EFECTO FOTOVOLTAICO.....</b>	<b>21</b>
<b>5.3.</b>	<b>PANEL SOLAR O MODULO FOTOVOLTAICO.....</b>	<b>23</b>
<b>5.4.</b>	<b>TIPOS DE PANELES FOTOVOLTAICOS .....</b>	<b>25</b>
<b>5.4.1.</b>	<b>CLASES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS .....</b>	<b>26</b>
<b>5.5.</b>	<b>COMPONENTES DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO .....</b>	<b>30</b>
<b>5.6.</b>	<b>MAGNITUDES RADIATIVAS.....</b>	<b>33</b>
<b>5.6.1.</b>	<b>RADIACIÓN SOLAR .....</b>	<b>33</b>
<b>5.6.1.1.</b>	<b>TIPOS DE RADIACIÓN SOLAR EXISTENTE .....</b>	<b>33</b>
<b>5.6.2.</b>	<b>IRRADIANCIA SOLAR .....</b>	<b>35</b>
<b>5.6.3.</b>	<b>IRRADIACIÓN SOLAR.....</b>	<b>36</b>
<b>5.7.</b>	<b>ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN EL MUNDO.....</b>	<b>37</b>



5.8.	ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN COLOMBIA .....	41
6.	SOSTENIBILIDAD .....	44
6.1.	DESARROLLO SOSTENIBLE .....	44
6.2.	SOSTENIBILIDAD SOCIAL.....	44
7.	METODOLOGÍAS DE PROYECTOS A UTILIZAR.....	44
7.1.	METODOLOGÍA GENERAL AJUSTADA (PROCESOS Y HERRAMIENTAS DEL MGA) .....	44
7.2.	GESTIÓN DE PROYECTOS SOSTENIBLES (PROCESOS Y HERRAMIENTAS DEL GPM).....	46
8.	MARCO INSTITUCIONAL.....	47
8.1.	CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA ORGANIZACIÓN (ALCALDÍA DE NATAGAIMA, TOLIMA 2018).....	47
8.2.	ORGANIGRAMA.....	50
8.3.	STAKEHOLDERS DE LA ORGANIZACIÓN .....	50
8.4.	MISIÓN.....	51
8.5.	VISIÓN .....	51
9.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	52
10.	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....	54
10.1.	LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN.....	55
10.1.1.	DESCRIPCIÓN DE LAS UNIDADES DE ANÁLISIS .....	55
10.1.2.	LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO .....	56
10.1.3.	ASPECTO POBLACIONAL .....	56
10.1.4.	ECONOMÍA Y DESARROLLO .....	57
10.1.5.	POBLACIÓN Y LA MUESTRA .....	58
10.1.5.1.	RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN .....	58
10.1.5.1.1.	PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LAS ENCUESTAS.....	60
10.1.5.2.	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	66
10.1.5.3.	INFORME DEL RESULTADO DEL TRABAJO DE CAMPO .....	66

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO,  
PLANEACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROYECTO  
PILOTO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA EL  
RESGUARDO INDÍGENA POCHARCO, UBICADO EN EL  
MUNICIPIO DE NATAGAIMA - DEPARTAMENTO DEL  
TOLIMA.**



<b>10.1.5.3.1.</b>	<b>ANÁLISIS DE DATOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>66</b>
<b>10.2.</b>	<b>MEDICIÓN DE LA FACTIBILIDAD CON BASE EN LA PLANEACIÓN DEL PROYECTO.....</b>	<b>67</b>
<b>10.2.1.</b>	<b>FACTIBILIDAD TÉCNICA.....</b>	<b>67</b>
<b>10.2.1.1.</b>	<b>RECONOCIMIENTO DEL TERRITORIO.....</b>	<b>67</b>
<b>10.2.1.2.</b>	<b>GEOMORFOLOGÍA Y RELIEVE .....</b>	<b>68</b>
<b>10.2.1.3.</b>	<b>RADIACIÓN SOLAR .....</b>	<b>68</b>
<b>10.2.1.4.</b>	<b>BRILLO SOLAR .....</b>	<b>69</b>
<b>10.2.1.5.</b>	<b>RADIACIÓN Y BRILLO SOLAR DISPONIBLE .....</b>	<b>70</b>
<b>10.2.1.6.</b>	<b>CÁLCULOS DE CONSUMO .....</b>	<b>71</b>
<b>10.2.1.7.</b>	<b>TIPOS DE VIVIENDA .....</b>	<b>72</b>
<b>10.2.1.8.</b>	<b>GEO-REFERENCIACIÓN DEL RESGUARDO.....</b>	<b>74</b>
<b>10.2.2.</b>	<b>FACTIBILIDAD SOCIAL.....</b>	<b>75</b>
<b>10.2.2.1.</b>	<b>NECESIDAD DE LA COMUNIDAD .....</b>	<b>75</b>
<b>10.2.2.2.</b>	<b>IDENTIFICACIÓN DE LOS PRINCIPALES PROBLEMAS. ....</b>	<b>76</b>
<b>10.2.2.2.1.</b>	<b>CAUSAS.....</b>	<b>76</b>
<b>10.2.2.2.2.</b>	<b>EFFECTOS.....</b>	<b>76</b>
<b>10.2.2.2.3.</b>	<b>DEBILIDADES ECONÓMICAS Y SOCIALES EXISTENTES DE LA POBLACIÓN. ....</b>	<b>76</b>
<b>10.2.2.3.</b>	<b>ANÁLISIS DE LA FACTIBILIDAD.....</b>	<b>76</b>
<b>10.2.3.</b>	<b>FACTIBILIDAD ECONÓMICA .....</b>	<b>77</b>
<b>10.2.3.1.</b>	<b>FLUJO DE CAJA A PRECIOS DEL MERCADO SEGÚN MGA.....</b>	<b>78</b>
<b>10.2.3.2.</b>	<b>CORRECCIÓN DE PRECIOS DEL MERCADO DE LOS DENOMINADOS RAZONES PRECIO CUENTA (RPC).....</b>	<b>79</b>
<b>10.2.3.3.</b>	<b>FLUJO ECONÓMICO DESCONTANDO LA TASA SOCIAL DE DESCUENTO.....</b>	<b>81</b>
<b>10.2.3.4.</b>	<b>INDICADORES DE RENTABILIDAD ECONÓMICA DEL PROYECTO .....</b>	<b>81</b>

<b>10.2.3.4.1. INDICADORES DE ANÁLISIS COSTO BENEFICIO. ....</b>	<b>81</b>
<b>10.2.4. FACTIBILIDAD LEGAL .....</b>	<b>83</b>
<b>10.3. FACTIBILIDAD DEL PROYECTO .....</b>	<b>85</b>
<b>10.4. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.....</b>	<b>85</b>
<b>10.4.1. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS .....</b>	<b>85</b>
<b>10.4.2. DISEÑO Y ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA.....</b>	<b>87</b>
<b>10.4.2.1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS. ....</b>	<b>88</b>
<b>10.4.2.2. ANÁLISIS TÉCNICO DE LA ALTERNATIVA .....</b>	<b>90</b>
<b>11. PLAN DE INTERVENCIÓN.....</b>	<b>91</b>
<b>11.1. RESUMEN FUENTES DE FINANCIACIÓN .....</b>	<b>92</b>
<b>11.2. RESUMEN DEL PROYECTO.....</b>	<b>92</b>
<b>11.3. TOMA DE DECISIÓN Y PROGRAMACIÓN DEL PROYECTO.....</b>	<b>95</b>
<b>12. CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE U OBJETIVOS MUNDIALES DE LA ONU. ....</b>	<b>95</b>
<b>13. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>97</b>
<b>13.1. CONCLUSIONES.....</b>	<b>97</b>
<b>13.2. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>98</b>
<b>14. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>100</b>
<b>15. ANEXOS .....</b>	<b>103</b>

### Tabla de Figuras

Figura 1. Árbol de objetivos. ....	17
Figura 2. Proceso de generación de energía eléctrica fotovoltaica. ....	20
Figura 3. Célula o celda solar. ....	21
Figura 4. Panel o módulo solar. ....	21
Figura 5. Proceso de fabricación de un módulo fotovoltaico. ....	22
Figura 6. Célula fotovoltaica. ....	23
Figura 7. Dimensiones típicas de paneles solares. ....	24
Figura 8. Arreglo de celdas y módulos en un conjunto fotovoltaicos. ....	25
Figura 9. Tipos de energía generada a partir de los paneles solares fotovoltaicos. ....	26
Figura 10. Sistema solar fotovoltaico aislado, autónomo o en isla (Off Grid). ....	27
Figura 11. Sistema de red solar conectado a una red local eléctrica (On Grid / Grid Tie). ....	28
Figura 12. Sistema de red solar fotovoltaico híbrido. ....	29
Figura 13. Panel solar fotovoltaico. ....	30
Figura 14. Controlador o regulador de carga solar. ....	31
Figura 15. Batería de ciclo profundo para sistema solar. ....	32
Figura 16. Inversor/cargador de baterías para sistema solar. ....	33
Figura 17. Tipos de radiación. ....	35
Figura 18. Curva de irradiancia e irradiación solar en un día. ....	36
Figura 19. Estación espacial internacional. ....	37

Figura 20. Avión solar Impulse II.....	38
Figura 21. Distribución del parque de generación de eléctrica en Colombia. ....	41
Figura 22. Parque solar El Paso. ....	43
Figura 23. Ciclo de vida de proyecto bajo metodología MGA. ....	45
Figura 24. Objetivos de desarrollo sostenible de la ONU. ....	47
Figura 25. Organigrama alcaldía municipal de Natagaima. ....	50
Figura 26. Mapa de la división política del Municipio de Natagaima.....	56
Figura 27. Entrada al resguardo indígena Pocharco. ....	57
Figura 28. Características de un censo.....	58
Figura 29. Distribución de la clasificación de la población censada. ....	59
Figura 30. Distribución de los 3 electrodomésticos que más requieren para desarrollar las labores diarias.....	61
Figura 31. Distribución sobre la disposición de la comunidad de pagar una planilla de servicio energía eléctrica de costo mínimo que servirá para el mantenimiento y limpieza de los paneles solares fotovoltaicos por parte del municipio. ....	63
Figura 32. Distribución del conocimiento de la población acerca de la preservación del ambiente con la implementación de la energía solar fotovoltaica.....	64
Figura 33. Distribución sobre el conocimiento de la comunidad acerca de los sistemas solares fotovoltaicos y su funcionamiento. ....	65
Figura 34. Mapa de Irradiación Solar Medio Diario Anual - Vereda Pocharco, Municipio de Natagaima. ....	69
Figura 35. Mapa Distribución del Brillo Solar Medio Diario Anual - Vereda Pocharco, Municipio de Natagaima.....	70
Figura 36. Distribución de los tipos de vivienda existentes en la comunidad indígena. ....	73
Figura 37. Vivienda del resguardo.....	73
Figura 38. Vivienda del resguardo.....	74

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO,  
PLANEACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROYECTO  
PILOTO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA EL  
RESGUARDO INDÍGENA POCHARCO, UBICADO EN EL  
MUNICIPIO DE NATAGAIMA - DEPARTAMENTO DEL  
TOLIMA.**



Figura 39. Modelo de instalación de panel solar elevado en poste metálico..... 75

Figura 40. Esquema Instalación Solar Fotovoltaica Aislada. .... 88

Figura 41. Configuración de paneles: 2 líneas, cada una con 2 paneles en serie..... 89

## Listado de Tablas

Tabla 1. Listados de los 10 países con instalaciones fotovoltaica realizadas en el año 2.019 por capacidad y los 10 países con la mayor capacidad instalada total de energía fotovoltaica en el mundo.....	40
Tabla 2. Cuadro de categorías, dimensiones, instrumentos y unidades de análisis. ....	55
Tabla 3. Datos del censo realizado. ....	59
Tabla 4. Resultados de la pregunta 1. ....	60
Tabla 5. Resultados de la pregunta 2. ....	60
Tabla 6. Resultados de la pregunta 3. ....	61
Tabla 7. Resultados de la pregunta 4. ....	62
Tabla 8. Resultados de la pregunta 5. ....	63
Tabla 9. Resultados de la pregunta 6. ....	64
Tabla 10. Resultados de la pregunta 7. ....	65
Tabla 11. Radiación solar promedio durante cada mes. ....	71
Tabla 12. Brillo solar promedio durante cada mes. ....	71
Tabla 13. Consumo promedio de una unidad habitacional.....	72
Tabla 14. Tipo de material de la vivienda.....	72
Tabla 15. Flujo de caja del proyecto.....	78
Tabla 16. Valores Razones Precio Cuenta (RPC).....	80
Tabla 17. Indicadores de Rentabilidad.....	81
Tabla 18. Relación Costo Beneficio. ....	83
Tabla 19. Criterios de evaluación. ....	86
Tabla 20. Escala de Calificación.....	87

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO,  
PLANEACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROYECTO  
PILOTO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA EL  
RESGUARDO INDÍGENA POCHARCO, UBICADO EN EL  
MUNICIPIO DE NATAGAIMA - DEPARTAMENTO DEL  
TOLIMA.**



Tabla 21. Matriz de evaluación multicriterio.....	87
Tabla 22. Especificaciones técnicas del sistema solar fotovoltaico.....	89
Tabla 23. Fuentes de financiación. ....	92
Tabla 24. Resumen del proyecto.....	92
Tabla 25. Toma de decisión.....	95



### **Listado de Anexos**

Anexo 1. Acta de inicio de la investigación

Anexo 2. Encuesta

Anexo 3. Desarrollo MGA proyecto piloto de energía solar fotovoltaica para el resguardo indígena Pocharco, ubicado en el municipio de Natagaima - Departamento del Tolima.

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO,  
PLANEACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROYECTO  
PILOTO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA EL  
RESGUARDO INDÍGENA POCHARCO, UBICADO EN EL  
MUNICIPIO DE NATAGAIMA - DEPARTAMENTO DEL  
TOLIMA.**

## **1. Introducción**

En el año 2015 se formuló un proyecto de Sistema Agroenergético para comunidades indígenas en Natagaima (Tolima), el cual es el segundo municipio con mayor número de comunidades indígenas en el departamento (Asociación de Autoridades Tradicionales del Consejo Regional Indígena del Tolima – CRIT, 2018), cuenta con un total de 48 comunidades, 27 de éstas se encuentran constituidas como resguardos indígenas y 21 se encuentran organizados bajo la figura de cabildo (Alcaldía de Natagaima, Tolima, 2018). Dicho proyecto tuvo como objeto Energizar escuelas rurales beneficiadas con el programa “computadores para educar” ubicadas en los municipios de Ataco, Chaparral, Ortega y Rioblanco, utilizando paneles solares como fuente de energía amigable con el medio ambiente.

Natagaima cuenta con una infraestructura básica para la prestación de los servicios públicos, en la zona urbana del Municipio. A través de la empresa de energía CELSIA se da cobertura a un 25% de la población, la población restante carece de servicio de energía eléctrica. Este es el caso del resguardo indígena Pocharco, que no cuenta con el servicio público de energía eléctrica.

Este resguardo se encuentra ubicado en el margen derecho del río Magdalena, en zona rural en la Vereda del mismo nombre, en límites con la Vereda y Quebrada de Yavi. Este resguardo considera que la tierra es la base de los indígenas y de la economía de las personas que habitan el territorio. El territorio lo es TODO, es donde se crean las relaciones del hombre con la naturaleza la madre tierra, allí se concibe la idea del trabajar la tierra, del sembrar y de producir. El total de población del Resguardo Pocharco, según el censo actualizado del año (2014), es de 29 familias y 210 personas (Asociación de Autoridades Tradicionales del Consejo Regional Indígena del Tolima – CRIT, 2018).

Una de las alternativas que puede ayudar a solucionar el problema de la falta de energía eléctrica en la comunidad es la energía solar, a través de la utilización de sistemas fotovoltaicos, la cual ha estado siempre dirigida al sector rural, en donde los altos costos de generación originados principalmente en el precio de los combustibles, y los costos de operación y mantenimiento en las distantes zonas remotas, hacen que la generación solar resulte confiable y más económica en el largo plazo.

En Colombia existe un gran potencial para aprovechar energías alternativas debido a la diversidad de recursos disponibles, pero sobre todo existen ventajas por su ubicación geográfica en el planeta, que permite hacer uso de la energía solar para abastecer de energía eléctrica a las comunidades de zonas aisladas y no interconectadas.

Este documento contiene los aspectos técnicos, sociales, normativos y económicos de un proyecto denominado: **PLANTEA UN ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO, PLANEACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROYECTO PILOTO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA EL RESGUARDO INDÍGENA POCHARCO, UBICADO EN EL MUNICIPIO DE NATAGAIMA - DEPARTAMENTO DEL TOLIMA.** Para que las entidades territoriales con problemas de falta de energía eléctrica en zonas que no tienen cobertura solucionen este problema con la implementación de Sistemas Solares Fotovoltaicas de una forma ágil y eficiente, teniendo en cuenta las consideraciones aquí planteadas. Este proyecto además contribuirá a ampliar la cobertura del servicio de energía eléctrica, y a plantear la energía Solar Fotovoltaica como una alternativa viable para dar solución a la cobertura del servicio en Zonas No Interconectadas ZNI, especialmente a viviendas rurales dispersas y de difícil acceso para la interconexión al SIN

El trabajo también se realiza como una guía para futuros proyectos en donde se considere la energía fotovoltaica como alternativa a las energías convencionales.

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO,  
PLANEACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROYECTO  
PILOTO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA EL  
RESGUARDO INDÍGENA POCHARCO, UBICADO EN EL  
MUNICIPIO DE NATAGAIMA - DEPARTAMENTO DEL  
TOLIMA.**

## **2. Objetivos**

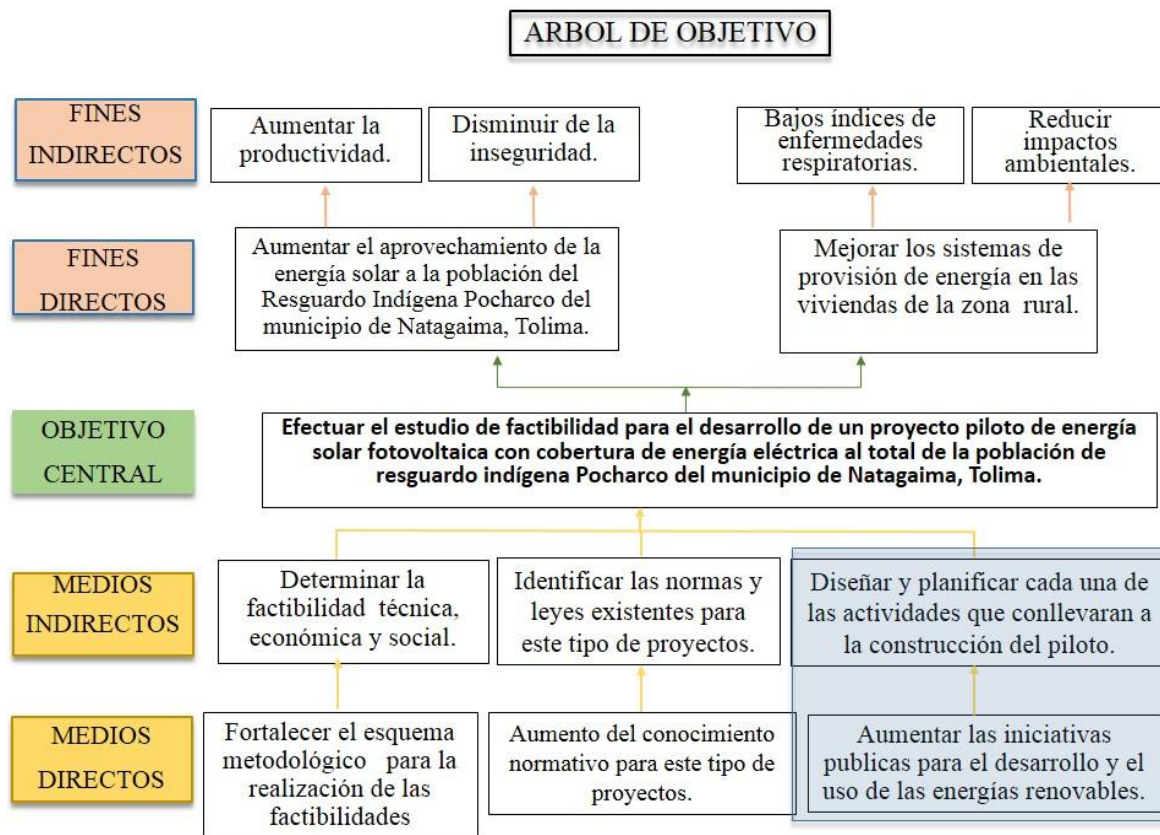
### **2.1. Objetivo general**

Efectuar el estudio de factibilidad para el desarrollo de un proyecto piloto de energía solar fotovoltaica con cobertura de energía eléctrica al total de la población de resguardo indígena Pocharco del municipio de Natagaima, Tolima.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Diseñar y planificar cada una de las actividades que conllevaran a la construcción del piloto, de tal manera que se minimicen los recursos a utilizar.
- Determinar la factibilidad técnica, económica y social para suministrar el servicio de iluminación, refrigeración, adecuación de ambiente y conectividad a otros electrodomésticos en las viviendas.
- Identificar desde el punto de vista legal y normativo existente en el país, las normas, leyes y reglamentos existentes para la planificación y construcción de este tipo de proyectos.

**Figura 1.** Árbol de objetivos.



**Fuente.** Los autores

### 3. Planteamiento del problema

#### 3.1. Antecedentes del problema

La falta de energía eléctrica es uno de los principales problemas que posee el resguardo indígena Pocharco ubicado en el municipio de Natagaima. Esta situación afecta su precaria economía y calidad de vida, pues al no contar con este servicio carecen de: iluminación nocturna lo cual ocasiona problemas de inseguridad, la posibilidad de conservar alimentos que requieran refrigeración, acceso a la conectividad, entre otros.

### **3.2. Pregunta de la investigación**

¿Qué tan factible es implementar un proyecto de energías sostenibles con energía solar fotovoltaica en la comunidad Indígena Pocharco?

### **3.3. Variables del Problema**

Para el diseño de las variables que van a ser medidas, se tiene en cuenta la condición en que se desarrolla la cotidianidad de la población objeto de estudio y que carece de oportunidades que permitan mejorar su calidad de vida.

Dentro de este proyecto trataremos dos variables diferentes:

#### **3.3.1. Variables independientes**

- Falta de acceso o poca cobertura de servicios públicos.
- Alta dispersión de familias en la zona rural
- Difícil acceso o ausencia de vías
- Igualdad social

#### **3.3.2. Variables dependientes**

- Aumento de la pobreza.
- Baja escolaridad en los niños de la zona rural del Resguardo Indígena.
- Pocas oportunidades de estudio y trabajo en la zona objeto de estudio.
- Baja calidad de vida. Exclusión social.

La etapa inicial del proyecto contempla la implementación de un prototipo para el resguardo indígena Pocharco suministrando energía fotovoltaica mediante paneles solares para toda la comunidad compuesta por 29 familias, favoreciendo a un total de 210 personas.

#### **4. Justificación**

El resguardo indígena Pocharco, carece del servicio público de energía eléctrica, se cocina con leña y se utilizan mechones y velas para tener iluminación en las noches, así mismo no tienen posibilidad de conservar alimentos que requieran refrigeración y tampoco acceso a la conectividad, entre otros.

La necesidad que se plantea para la comunidad es la de realizar un estudio de factibilidad para un proyecto de energía solar, con el fin de solventar el servicio de energía eléctrica.

Este proyecto de factibilidad será utilizado por la alcaldía del municipio de Natagaima con el fin de implementarlo como proyecto social de desarrollo para la Comunidad Indígena Pocharco, el cual puede ser utilizado como modelo a implementar en los diversos resguardos existentes en el municipio que carecen del servicio de energía eléctrica.

El proyecto de factibilidad propuesto puede servir como guía a gerentes de proyecto para realizar este tipo de estudios en otras regiones del país, con necesidades similares a las planteadas.

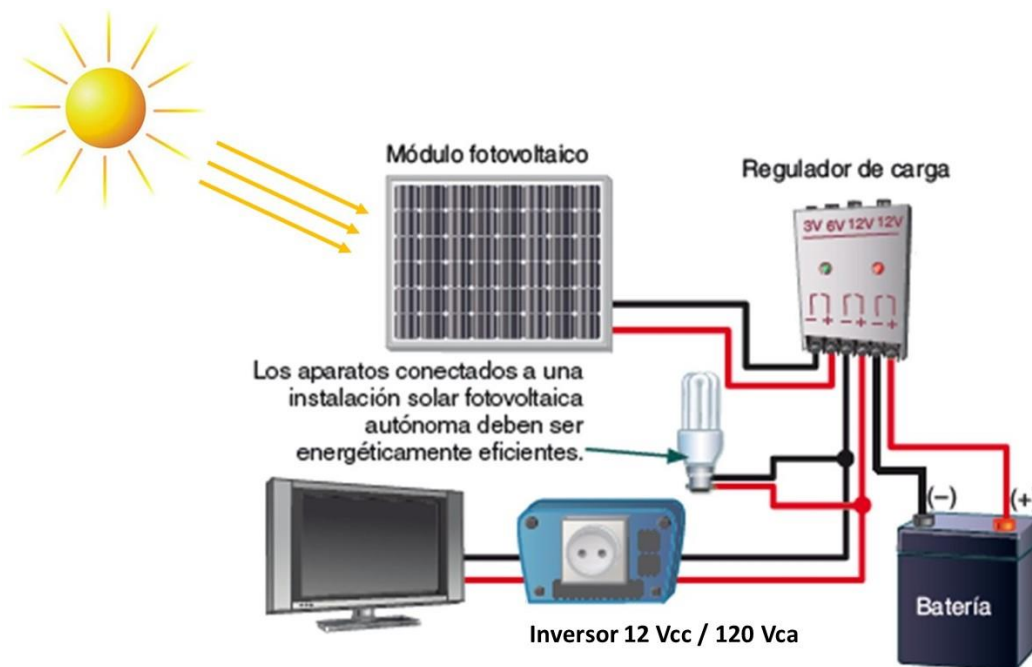
Así mismo contribuye con el ambiente, ya que es una de las formas de generación de electricidad más limpias que existe en la actualidad y da cumplimiento al acuerdo de cambio climático de París de 2015, en donde se estableció, que el desarrollo económico del mundo debe moverse a partir de energías renovables, para dejar atrás la generación a partir de combustibles fósiles, como carbón, petróleo o gas natural. Por otra parte, existen beneficios tributarios por parte del gobierno nacional para inversión en proyectos de energía renovable, Ley 1715 del 2014.

## 5. Marco de referencia

### 5.1. Principios de funcionamiento

La energía solar fotovoltaica se fundamenta en el fenómeno o efecto fotoeléctrico o fotovoltaico, el cual consiste en la conversión de radiación solar en electricidad. Este proceso se consigue a través de materiales semiconductores que tienen la propiedad de absorber fotones y convertirlos en electrones. Cuando estos electrones se encuentran libres son capturados, dando como resultado una corriente eléctrica. Cuanto más intensa sea la radiación solar, mayor será la del flujo de electricidad. En la figura 2, se puede apreciar una breve descripción del proceso de generación de energía fotovoltaica.

**Figura 2.** Proceso de generación de energía eléctrica fotovoltaica.



**Fuente.** AC&CC Ingenieros. (2018). Como funciona la energía solar fotovoltaica. Recuperado de <https://www.ac-cc.com/blog/como-funciona-la-energia-solar-fotovoltaica>

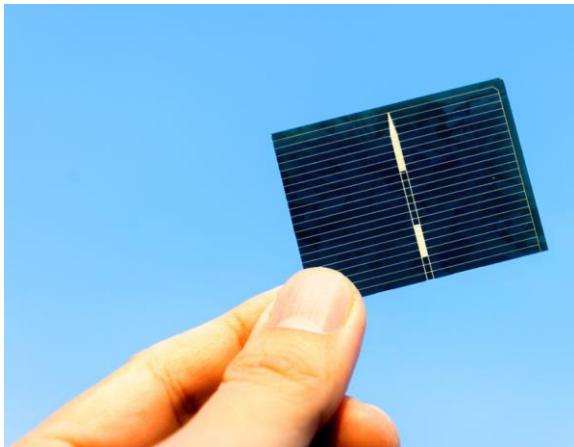


## 5.2. El efecto fotovoltaico

El elemento principal de una instalación de energía solar fotovoltaica es el generador, que recibe el nombre de *célula o celda solar*, la cual se puede observar en la figura 13.

Las células o celdas solares o fotovoltaicas son dispositivos formados de material semiconductor, normalmente de silicio y recubiertas por un vidrio transparente que deja pasar la radiación solar y minimiza las pérdidas. Su dimensión típica es de 15 cm de alto por 15 cm de ancho. Estas células son capaces transformar los rayos del sol en energía eléctrica. El resultado del ensamble de las celdas o células solares se llama *Panel Solar o módulo fotovoltaico*. el cual se puede observar en la figura 4.

**Figura 3.** Célula o celda solar.



**Figura 4.** Panel o módulo solar.



**Fuente:** Ecofener. (2018). ¿Cómo se produce la electricidad en las celdas fotovoltaicas?. Recuperado de <https://ecofener.com/blog/se-produce-la-electricidad-las-celdas-fotovoltaicas/>

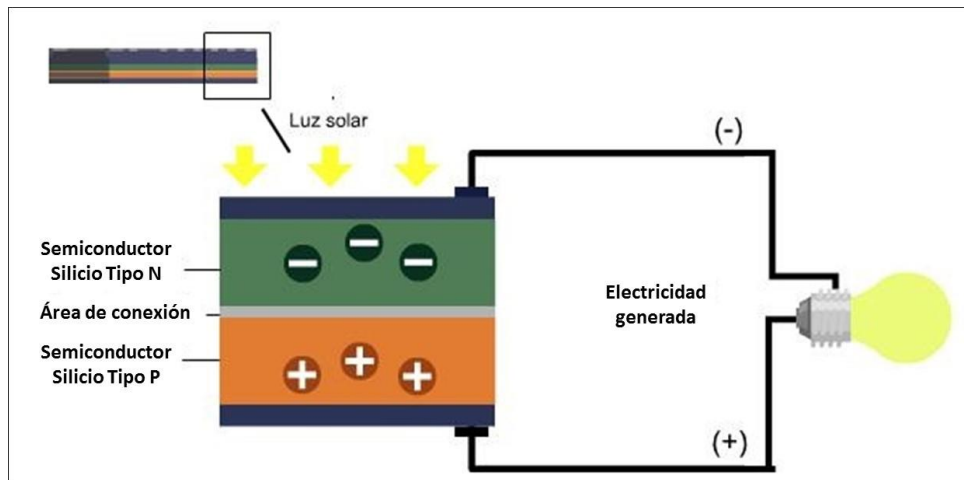
**Figura 5.** Proceso de fabricación de un módulo fotovoltaico.



**Fuente.** Cuytronic. (2017). Cómo Fabricar Paneles Solares | 11 pasos para la Construcción de Paneles Solares. Recuperado de <https://www.electricidad-gratuita.com/fabricacion-de-paneles-solares/>

Las células fotovoltaicas, están compuestas por una delgada capa de material tipo n (electrón libre) y otra de mayor espesor de material tipo p (hueco disponible), en la unión de estas capas se forma el campo eléctrico. Además, se coloca un conductor externo que conecta la capa negativa a la positiva, generándose así el flujo de electrones o corriente eléctrica desde la zona p a la zona n. La superficie de la zona n es la de la cara que se ilumina y mientras siga siendo iluminada por la luz del sol habrá corriente eléctrica y su intensidad será proporcional a la cantidad de luz que reciba (Romero, 2015, p.16).

**Figura 6.** Célula fotovoltaica.

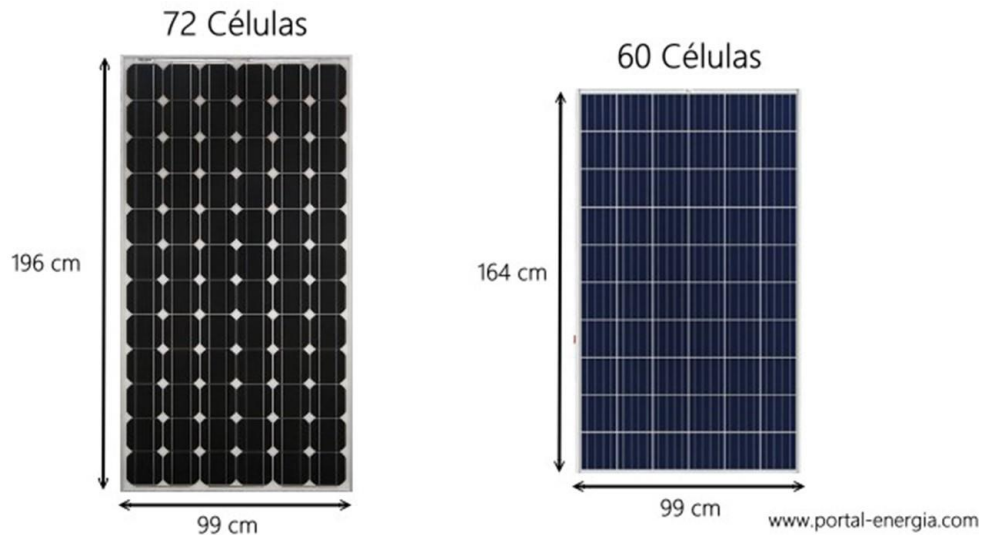


**Fuente.** Blog Zurrido. (2011). La energía solar: térmica y fotovoltaica. Recuperado de <http://blogzurrido.blogspot.com/2011/06/la-energia-solar-termica-y-fotovoltaica.html>

### 5.3. Panel solar o modulo fotovoltaico

El panel o módulo fotovoltaico, es una estructura que está formada por un conjunto de las celdas fotovoltaicas interconectadas entre ellas. Generalmente tienen entre 40 y 80 celdas fotovoltaicas con dimensiones promedio de 164 cm (alto) x 99 cm (ancho) x 4 cm (profundidad) para instalaciones residenciales, aunque los tamaños varían muy poco entre las distintas empresas que fabricantes. En cuanto a su peso este puede oscilar entre 3 y 25 Kg, según su potencia.

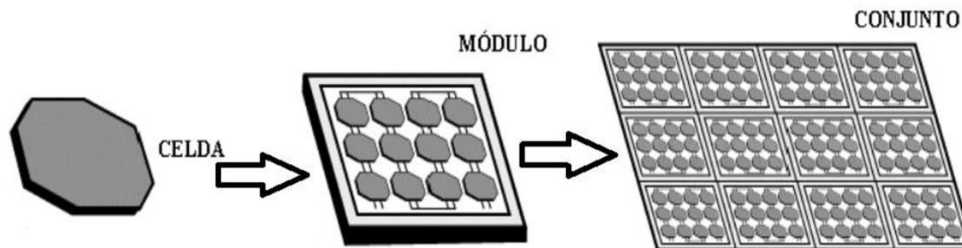
**Figura 7.** Dimensiones típicas de paneles solares.



**Fuente.** Energía renovable. (2020). Cuáles son las medidas estándar de los paneles solares fotovoltaicos. Recuperado de <https://energiarenovable24.com/solar/cuales-son-las-medidas-estandar-de-los-paneles-solares-fotovoltaicos/>

Varios paneles pueden ser conectados entre sí y formar un arreglo. Cuán más grande el arreglo, más energía eléctrica será producida. Los módulos tienen una vida estimada de 25 años, pero después de 20 años su potencia disminuye por la degradación de las celdas fotovoltaicas, las baterías y el inversor. Se tiene estimado que el porcentaje de degradación de las celdas o módulos solares es del 0.5% por año.

**Figura 8.** Arreglo de celdas y módulos en un conjunto fotovoltaicos.



(SunEdison Inc., 2014)

**Fuente:** Arias, R.A. (2019). Evaluación en línea de red experimental multipunto y monopunto de generación distribuida (GD) con energía solar conectada a baja tensión. (Trabajo de grado). Universidad de Ibagué, Ibagué, Colombia.

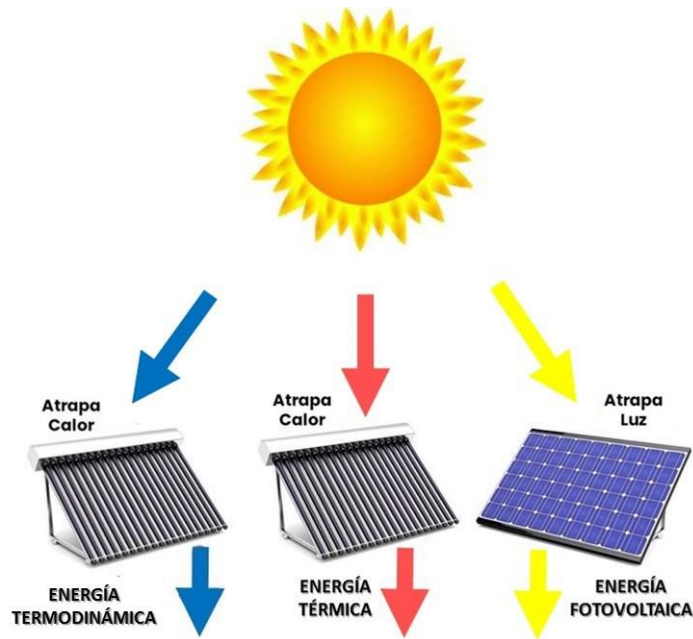
En cuanto al mantenimiento de los paneles solares es básicamente el lavado con agua. El cual inicia con la limpieza, la cual debe realizarse con un cepillo de cerdas suaves, posteriormente, se le echa agua tibia y finalmente se debe pasar una esponja suave con algo de agua sobre la superficie de los paneles solares. Es fundamental que la esponja sea la más suave posible, esto con el fin de evitar rayar los paneles. Adicionalmente, el agua siempre tiene que estar tibia ya que, si por error se utilizara agua fría, el choque térmico con un panel expuesto al sol y al calor podría dañar las células fotovoltaicas. También hay que tener mucho cuidado con la potencia del chorro de agua con el que se limpiara el panel solar. Ya que un chorro de agua fuerte puede dañarlos, debido a la presión del líquido. Este mantenimiento debe llevarse a cabo como mínimo una vez al año.

#### 5.4. Tipos de paneles fotovoltaicos

Existen **tres tipos de paneles solares: fotovoltaico**, generadores de energía eléctrica; **térmico o termosolar**, para calentar el agua u otro tipo de fluidos, destinados al consumo de agua doméstico, ya sea agua caliente sanitaria, calefacción y climatización de piscinas, o para producción de energía mecánica y a partir de ella, de energía eléctrica; y **termodinámico**, que funcionan a pesar de la variación meteorológica, es decir, aunque sea de noche, llueva o esté

nublado y su utiliza para calentar el agua, la cual se puede utilizar para: El consumo doméstico ya sea agua caliente sanitaria, calefacción o climatización de piscinas y para la generación de energía eléctrica a través turbinas de generación eléctrica con base en vapor de agua. (Acciona.org, 2019). En la figura 9, se pueden observar los tipos de energía que se pueden generar a partir de los paneles solares fotovoltaicos.

**Figura 9.** Tipos de energía generada a partir de los paneles solares fotovoltaicos.



**Fuente.** Los autores.

#### 5.4.1. Clases de sistemas fotovoltaicos

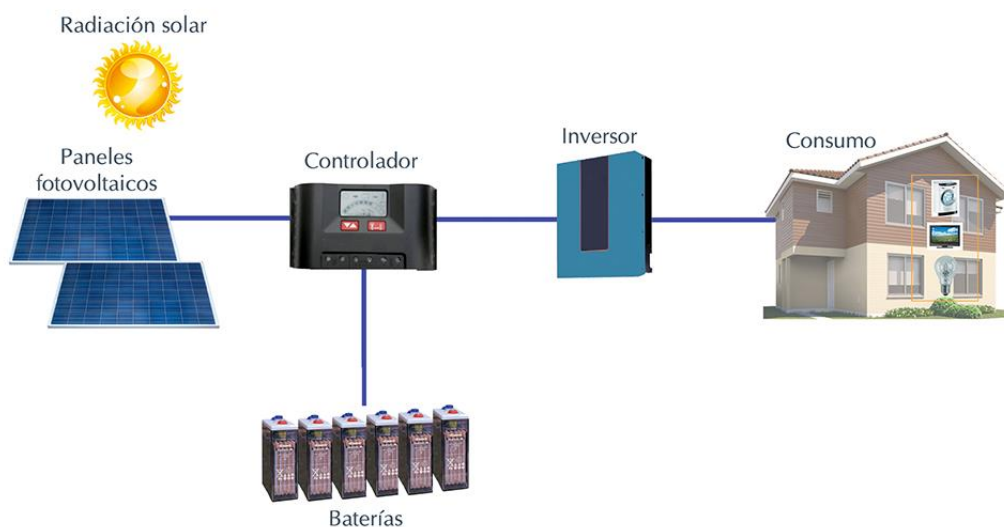
Existen básicamente tres tipos de sistemas fotovoltaicos utilizadas para suministro eléctrico:

- **Sistema solar fotovoltaico aislado, autónomo o en isla (Off Grid).**

Es un sistema de generación sin conexión a la red local eléctrica, que proporciona al propietario energía procedente del sol. Para el almacenamiento de la energía fotovoltaica generada se requiere de acumuladores o baterías para uso solar, las cuales permiten utilizarla durante las 24 horas del día.

Generalmente este tipo de sistemas es muy utilizado en regiones aisladas donde la conexión a la red eléctrica no es posible o no está prevista debido a los altos costos de construcción de redes eléctricas, especialmente en las zonas rurales remotas. En la figura 10, se puede observar un típico sistema solar fotovoltaico aislado o autónomo.

**Figura 10.** Sistema solar fotovoltaico aislado, autónomo o en isla (Off Grid).

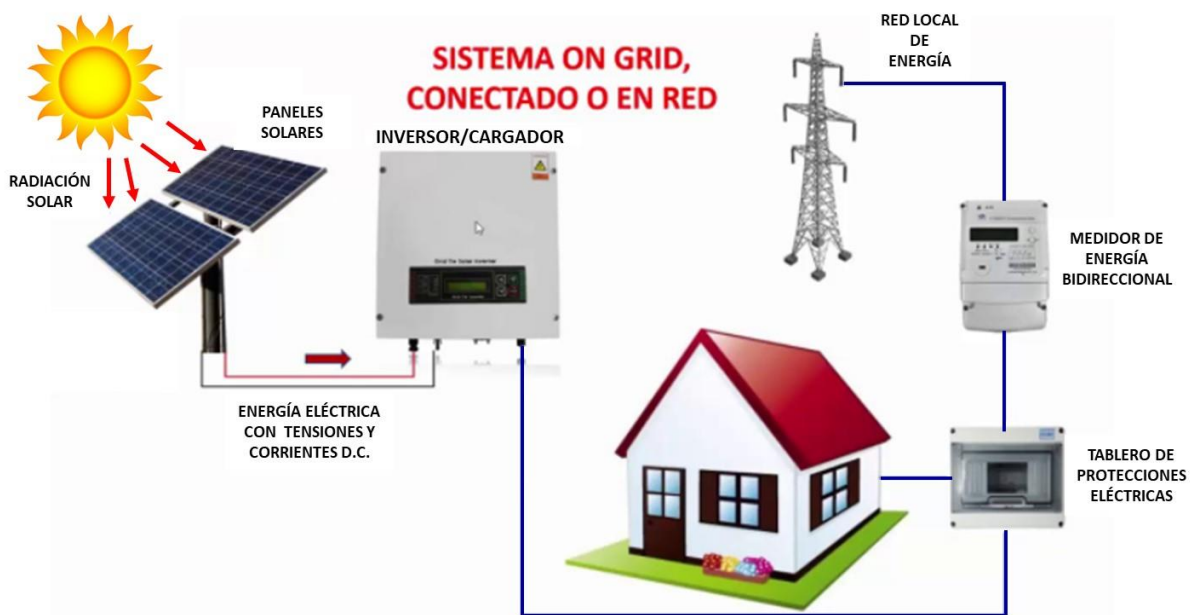


**Fuente:** Electrosistemas. (2020). Sistemas autónomos para zonas donde no existe conexión a la red pública (OFF GRID). Recuperado de <https://www.electrosistemas.com.ar/sistemas-off-grid/>

- **Sistema solar fotovoltaico conectado a la red eléctrica (On Grid / Grid Tied)**

Es un sistema que se encuentra conectado directamente con la red eléctrica local. Esto quiere decir que durante las horas de luz del día el usuario consume la energía producida por el sistema fotovoltaico y durante la noche toma la energía de la red (debido a que el sistema no almacena energía). En la figura 11, se puede observar un típico sistema solar fotovoltaico conectado a la red u On Grid o Grid Tie.

**Figura 11.** Sistema de red solar conectado a una red local eléctrica (On Grid / Grid Tie).



**Fuente:** Ospino, A. F. (2020). Generalidades de los sistemas de generación solar OFF GRID y ON GRID. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=irHcxDtXbVg>



- **Sistema solar fotovoltaico híbrido.**

Es un sistema que combina la energía solar fotovoltaica y la red eléctrica.

Si la energía producida a través de los paneles solares cubre el consumo de los equipos o electrodomésticos, el inversor entrega esta energía y si hay excedente carga las baterías o bien entrega el excedente a la red eléctrica, por estas funciones también se conoce como inversor/cargador. Si el consumo es superior a la energía generada por los paneles solares, el inversor toma la energía faltante de la red eléctrica. En la figura 12 se puede observar un típico sistema solar fotovoltaico híbrido.

**Figura 12.** Sistema de red solar fotovoltaico híbrido.



**Fuente:** Ospino, A. F. (2020). Generalidades de los sistemas de generación solar OFF GRID y ON GRID. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=irHxDtXbVg>

### **5.5. Componentes de un sistema fotovoltaico**

Un sistema fotovoltaico está conformado por una serie de componentes básicos, los cuales se muestran a continuación:

**Panel solar:** Es el elemento que capta la energía proveniente del sol y la convierte en energía eléctrica. Está conformado por un conjunto de las celdas fotovoltaicas interconectadas entre ellas. En la figura 13, se muestra un panel solar fotovoltaico tipo.

**Figura 13.** Panel solar fotovoltaico



**Fuente:** ENDEF. (2017). Tipos de paneles solares. Energía solar para principiantes. Recuperado de <https://endef.com/tipos-de-paneles-solares/>

- **Controlador o regulador:** Es el dispositivo que controla los ciclos de carga y descarga de las baterías conectadas al sistema fotovoltaico. Su propósito principal es la protección de las baterías con el fin de prevenir sobrecargas o descargas excesivas, controlando de

forma automática su conexión y desconexión al sistema con base en los parámetros definidos. En la figura 14 se muestra un controlador de carga solar tipo.

**Figura 14.** Controlador o regulador de carga solar.



**Fuente:** Victron Energy. Controladores de carga solar. Recuperado de <https://www.victronenergy.com/es/solar-charge-controllers/smartsolar-250-85-250-100>

- **Baterías para sistemas solares:** Son acumuladores que tienen como función almacenar la energía eléctrica generada por los paneles fotovoltaicos. Una de sus principales características de diseño consiste en soportar los constantes y prolongados procesos de carga y descarga, ya que su funcionamiento se basa proceso electroquímico de oxidación/reducción.

Existen baterías de ciclo bajo, las cuales están diseñadas para suplir una cantidad de corriente por un corto período de tiempo y soportar pequeñas sobrecargas sin perder electrolitos, como en el caso de las de automóviles. Sin embargo, no soportan descargas profundas. Si son descargadas repetidamente por debajo del 20%, se acorta su vida útil considerablemente. Por lo tanto, estas baterías no son una buena elección para sistemas solares fotovoltaicos.

También existen las baterías de ciclo profundo, las cuales están diseñadas para ser descargadas repetidamente hasta un 80% de su capacidad. Esta característica las convierte en la mejor opción para sistemas de energía solar. En la figura 15 se muestra una batería para sistema solar tipo.

**Figura 15.** Batería de ciclo profundo para sistema solar.



**Fuente:** IEN. (2018). Baterías de ciclo profundo. Recuperado de <http://newline.com.co/producto/cp-12v-100ah/>

- **Inversor / Cargador de baterías:** Es un equipo cuya función principal es la de transformar la energía producida en una instalación fotovoltaica, que se transmite en forma de corriente continua (DC o CC) o de las baterías a corriente alterna (CA), es con el fin de hacer uso de los electrodomésticos y la de otros equipos eléctricos propios de una vivienda.

Otra de sus importantes funciones es la de medir la tensión eléctrica de las baterías y poder dar una orden de carga cuando dicha tensión sea baja, ya sea directamente de los paneles solares o a través del suministro directo de la red eléctrica, según el

caso. En la figura 16, se muestra un inversor/cargador de baterías para sistema solar tipo.

**Figura 16.** Inversor/cargador de baterías para sistema solar.



**Fuente:** Punto solar. Inversor. Recuperado de <https://puntosolar.cl/index.php/producto/abb-uno-monofasico-aislado/>

## 5.6. Magnitudes Radiativas

### 5.6.1. Radiación Solar

La radiación solar es la energía emitida por el Sol, que se propaga en todas las direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas y se genera en las reacciones del hidrógeno en el núcleo del Sol por fusión nuclear y es emitida por la superficie solar.

#### 5.6.1.1. Tipos de radiación solar existente

Existen básicamente dos tipos de radiación solar utilizadas para generación de energía:

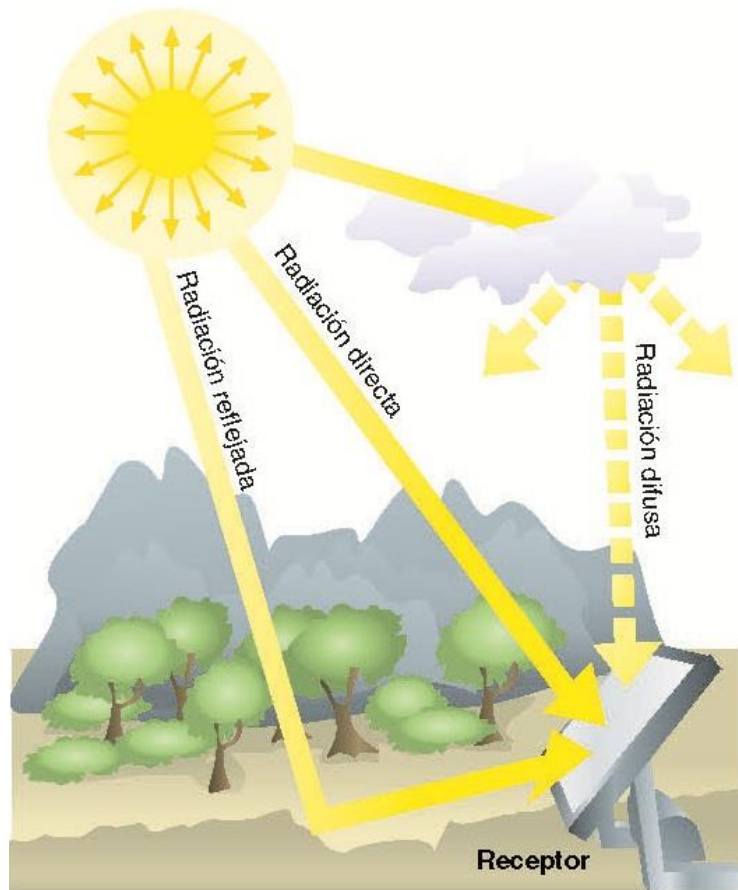
**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO,  
PLANEACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROYECTO  
PILOTO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA EL  
RESGUARDO INDÍGENA POCHARCO, UBICADO EN EL  
MUNICIPIO DE NATAGAIMA - DEPARTAMENTO DEL  
TOLIMA.**

- Radiación Directa: Esta definida como aquella que llega directamente del sol hasta algún objeto o superficie terrestre sin reflexiones o refracciones en su recorrido. Este tipo de radiación presenta mejores propiedades para su aprovechamiento energético, ya que puede reflejarse y concentrarse para su utilización. Este tipo de radiación produce sombra de los objetos que están directamente colocados en el trayecto de los rayos solares.
- Radicación Difusa: Esta definida como aquella emitida por el sol y que sufre alteraciones en su recorrido desde que ingresa a la atmosfera, siendo reflejada por partículas de polvo atmosférico, montañas, arboles edificios, entre otros o absorbida por las nubes. Este tipo de radiación no produce sombra de los objetos que se imponen en su trayecto.

La energía solar puede ser utilizada en los dos tipos de radiaciones mencionadas, cada una tiene sus particularidades ya que en los días soleados y despejados la radiación directa es mucho mayor, sin embargo, en los días nublados prevalece la radicación difusa.

En la figura 17 se pueden observar los tipos de radiación.

**Figura 17.**Tipos de radiación.



**Fuente:** Bioescuela. La energía del sol. Recuperado de <http://www.bioescuela.org.ar/lecci%C3%B3n/2-4-la-energia-del-sol/?print=print>

La medición de la radiación se realiza a través de la *Irradiancia* y su unidad de medida es  $W/m^2$  (vatios por metro cuadrado de superficie).

### 5.6.2. Irradiancia solar

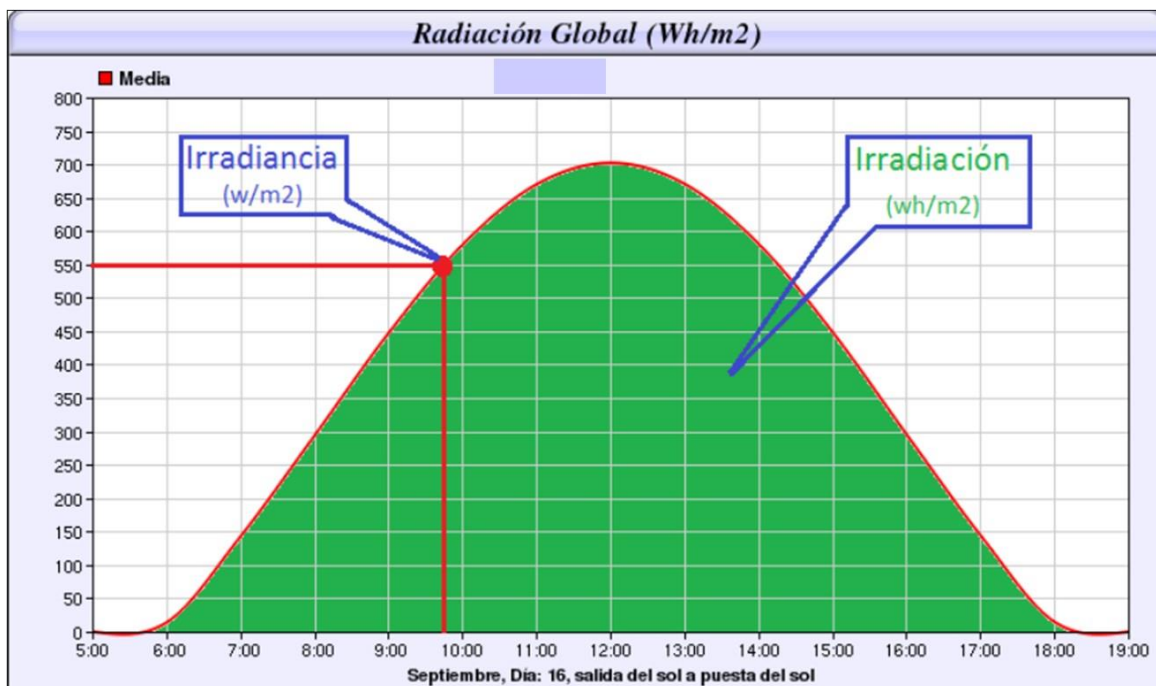
Potencia de la radiación solar por unidad de área ( $W/m^2$ ). Es la magnitud que describe la radiación o intensidad de iluminación solar que llega hasta nosotros medida como una potencia instantánea por unidad de superficie.

Para la medición de energía solar, la radiación es del tipo calórica o lumínica y la unidad de medida en el sistema internacional es  $W/m^2$ . Es decir, no toda la radiación solar que genera el Sol llega la Tierra.

### 5.6.3. Irradiación solar

Energía por unidad de área ( $J/m^2$  o  $Wh/m^2$ ). Es la magnitud que mide la energía por unidad de área de la radiación solar incidente en una superficie colocada en un lugar y rango de tiempo bien especificados. En términos sencillos es la suma de las irradiancias en un periodo de tiempo determinado. Debido a la relación con la generación de energía eléctrica, se utiliza como unidad el  $Wh/m^2$  y sus múltiplos más habituales  $kWh/m^2$  y  $MWh/m^2$ . En la figura 18, se muestra una curva de interrelación entre la irradiancia y la irradiación solar.

**Figura 18.** Curva de irradiancia e irradiación solar en un día.



**Fuente:** HelioEsfera. (2020). Recuperado de <https://www.helioesfera.com/irradiancia-irradiacion-y-radiacion-solar/>

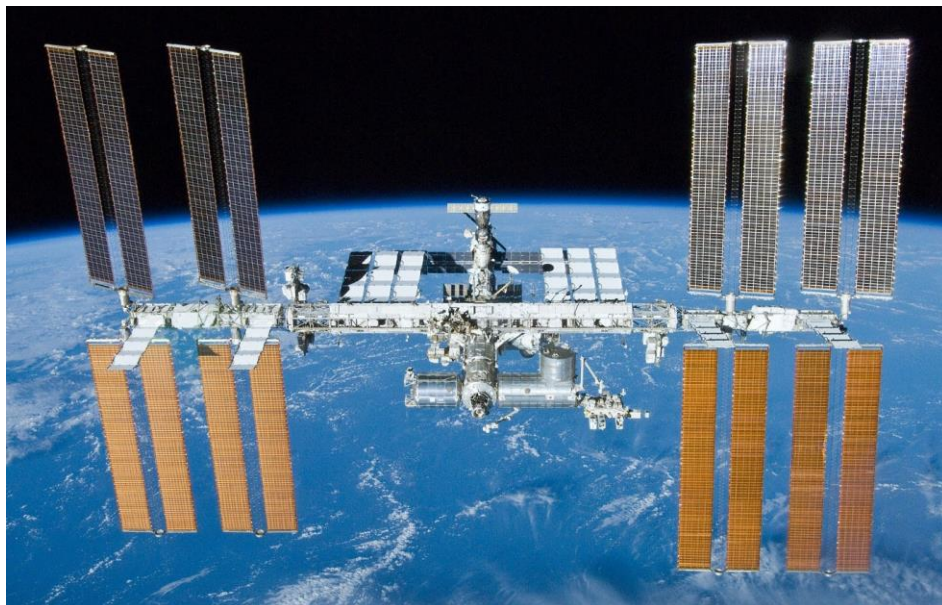


Si hablamos de irradiancia, nos estamos refiriendo a un momento dado, mientras que, si lo hacemos de irradiación, nos referimos a un periodo dado, puede ser un día, una hora, un mes o todo un año. Es decir, no podemos hablar de la irradiancia en un día, o de la irradiación en un momento dado,

### 5.7. Energía solar fotovoltaica en el mundo

El 20 de noviembre de 1.998 se lanza el satélite más grande que existe en toda la órbita terrestre, llamado la Estación Espacial Internacional, el cual es un centro de investigación y laboratorio. Tiene 84 kW en paneles solares, que proporcionan toda su potencia, incluidos los sistemas de soporte de vida para los 6 tripulantes, comunicaciones y equipos científicos. Las baterías recargables proporcionan energía durante los 35 de cada 90 minutos que la estación se encuentra a la sombra de la Tierra.

**Figura 19.** Estación espacial internacional.

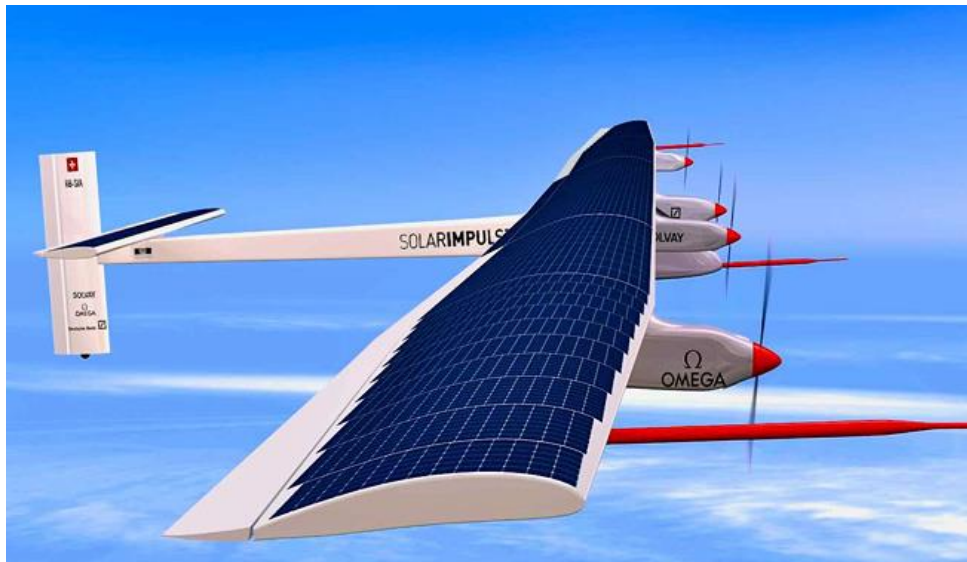


**Fuente.** Wikipedia. (2021). Estación espacial internacional. Recuperado de [https://es.wikipedia.org/wiki/Estaci%C3%B3n\\_Espacial\\_Internacional](https://es.wikipedia.org/wiki/Estaci%C3%B3n_Espacial_Internacional)

El 9 de marzo de 2015, el avión conocido como Solar Impulse II, inicio su travesía de darle la vuelta al mundo, impulsado únicamente mediante energía solar fotovoltaica.

Luego de 505 días esta hazaña se cumplió, aterrizando finalmente en Abu Dabi, el 26 de julio de 2016. Ver figura 20.

**Figura 20.** Avión solar Impulse II.



**Fuente.** Energías renovadas. (2012). El avión solar Impulse une Europa y África sin utilizar ni una sola gota de combustible. Recuperado de <https://energiasrenovadas.com/el-avion-solar-impulse-une-europa-y-africa-sin-utilizar-ni-una-sola-gota-de-combustible/>

Estas dos grandes hazañas, son las demostraciones del uso que le han dado a la energía solar fotovoltaica en el mundo.

Ha sido el calentamiento global, uno de los mayores impulsores del uso de energías renovables y en ese sentido, las potencias del mundo han visto en la energía solar fotovoltaica el medio de satisfacer sus necesidades energéticas y de paso darle una mano al ambiente.

Con el Acuerdo para el Cambio Climático de París en 2015 quedó claro que el desarrollo económico del mundo debe moverse a partir de energías renovables, para dejar atrás la generación a partir de combustibles fósiles, como carbón, petróleo o gas natural.

Dentro de ese contexto muchos países han empezado por cambiar paradigmas sociales y culturales en torno al uso de la energía solar fotovoltaica, iniciando a estimular y concientizar cada día más a sus habitantes, en torno a los beneficios y uso de este tipo de energía.

Una de las principales razones para este cambio, es la de crear un ambiente en cuanto a producción de energía de manera limpia y con conciencia social hacia los impactos del calentamiento global.

El crecimiento mundial de la energía fotovoltaica en 2019 fue del orden de los 115 GW, la demanda mundial aumentó el año pasado en un 12% en comparación con 2018, y Europa en su conjunto representa una cuota de alrededor de más del 18% de la capacidad fotovoltaica recientemente instalada en todo el mundo. En la tabla 1, se relacionan los países que instalaron mayor energía solar fotovoltaica en el 2019 y los países con mayor capacidad instalada en energía solar fotovoltaica del mundo.

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO,  
PLANEACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROYECTO  
PILOTO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA EL  
RESGUARDO INDÍGENA POCHARCO, UBICADO EN EL  
MUNICIPIO DE NATAGAIMA - DEPARTAMENTO DEL  
TOLIMA.**



**Tabla 1.** Listados de los 10 países con instalaciones fotovoltaica realizadas en el año 2019 por capacidad y los 10 países con la mayor capacidad instalada total de energía fotovoltaica en el mundo.

<u>CAPACIDAD INSTALADA EN EL 2019</u>				<u>CAPACIDAD INSTALADA TOTAL</u>			
1		China	30.1 GW	1		China	204.7 GW
2		Estados Unidos	13.3 GW	2		Estados Unidos	75.9 GW
3		India	9.9 GW	3		Japón	63 GW
4		Japón	7 GW	4		Alemania	49.2 GW
5		Vietnam	4.8 GW	5		India	42.8 GW
6		España	4.4 GW	6		Italia	20.8 GW
7		Alemania	3.9 GW	7		Australia	14.6 GW
8		Australia	3.7 GW	8		Reino Unido	13.3 GW
9		Ucrania	3.5 GW	9		Corea del Sur	11.2 GW
10		Corea del Sur	3.1 GW	10		Francia	9.9 GW
		Unión Europea	16 GW			Unión Europea	131 GW

**Fuente.** PV Magazine. (2020). Listados de los 10 países con instalaciones fotovoltaica realizadas en el año 2019. Recuperado de <https://www.pv-magazine.es/2020/04/30/espana-el-6-o-pais-del-mundo-que-mas-fotovoltaica-instalo-en-2019/>

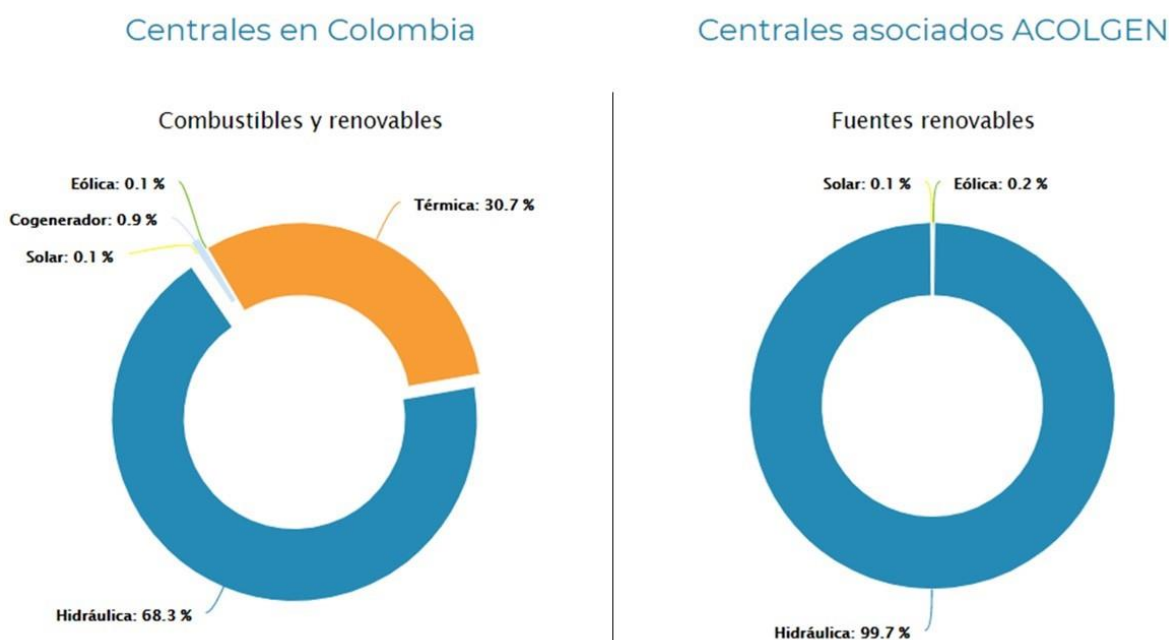
China se ha convertido en menos de un cuarto de siglo, de no tener prácticamente paneles solares fotovoltaicos, a ser el líder indiscutible de la energía solar fotovoltaica.

Se estima que para el año 2030, el 34% de la electricidad generada en el mundo será de origen eólico o solar y para el año 2040, se espera que la eólica y la solar representen el 50% de la capacidad de generación mundial.

### 5.8. Energía solar fotovoltaica en Colombia

Para el caso de Colombia, la producción de energía eléctrica proviene de un 68.3% de generación hidráulica, un 30.7% de generación térmica (combustibles fósiles) y el resto del aporte proviene de la producción de energía eólica (0.1%) y solar (0.1%).

**Figura 21.** Distribución del parque de generación de eléctrica en Colombia.



**Fuente.** Acolgen. (2021). Capacidad instalada en Colombia. Recuperado de <https://www.acolgen.org.co/>

Colombia cuenta con un alto potencial para generación de energía solar fotovoltaica frente al resto del mundo. Este potencial se encuentra en las regiones como la Caribe, Pacífica, Orinoquía y la Región Central.

De acuerdo con el informe de gestión 2019 de la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME), el registro de proyectos de generación inscritos para esa vigencia fue de 239 solicitudes, de las cuales 219 corresponden a proyectos solares fotovoltaicos, de los cuales solo

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO,  
PLANEACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROYECTO  
PILOTO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA EL  
RESGUARDO INDÍGENA POCHARCO, UBICADO EN EL  
MUNICIPIO DE NATAGAIMA - DEPARTAMENTO DEL  
TOLIMA.**

100 obtuvieron el certificado técnico FNCE (FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGÍA) con una capacidad de generación de 29.17 MW.

La Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) y el Ministerio de Minas y Energía estiman que para antes de 2030 cerca de 10% del consumo energético en Colombia va a provenir de proyectos fotovoltaicos.

El 5 de abril de 2019, se inauguró la planta solar más grande construida en el país hasta el momento. Se trata del parque solar EL PASO, ubicado en el municipio El Paso, departamento del Cesar. Con un costo cercano a los 70 millones de dólares, la planta solar tiene una capacidad instalada de 86.2 MW, la cual representa el 80% de la capacidad instalada de energía solar en el país, podrá producir alrededor de 176 GWh al año, con los cuales se puede suplir las necesidades energéticas de una ciudad como Valledupar.

Para su construcción se utilizaron 250.000 paneles monocristalinos de 340W - 1500 V, ocupando un área cercana a las 210 hectáreas, espacio equivalente a 227 canchas de fútbol. Ver figura 22.

**Figura 22.** Parque solar El Paso.



**Fuente.** Energía limpia XXI. (2019). Histórico Colombia este año activó su planta de energía solar más grande. Recuperado de <https://energialimpiaparatodos.com/2019/12/04/ecologica-colombia-prensa-sostenible/>

## **6. Sostenibilidad**

### **6.1. Desarrollo sostenible**

El desarrollo sostenible se define como aquella que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades (Informe titulado «Nuestro futuro común» de 1987, Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo de la ONU).

### **6.2. Sostenibilidad social**

Se define como aquella que busca fomentar las relaciones entre los individuos y el uso colectivo de lo común conjugando crecimiento económico y respeto ambiental con bienestar social, fomentando el mantenimiento y la creación de empleo, protegiendo la seguridad y la salud de las personas, asegurando la reducción de la pobreza y las desigualdades y evitando las situaciones de exclusión social.

El punto de partida. Entender al proyecto de inversión pública como la unidad operacional de la planeación del desarrollo que vincula recursos (humanos, físicos, monetarios, entre otros) para resolver problemas o necesidades sentidas de la población.

## **7. Metodologías de Proyectos a Utilizar**

Como aplicación para este estudio de factibilidad se tendrán en cuenta la metodología MGA y el estándar P5 del GPM.

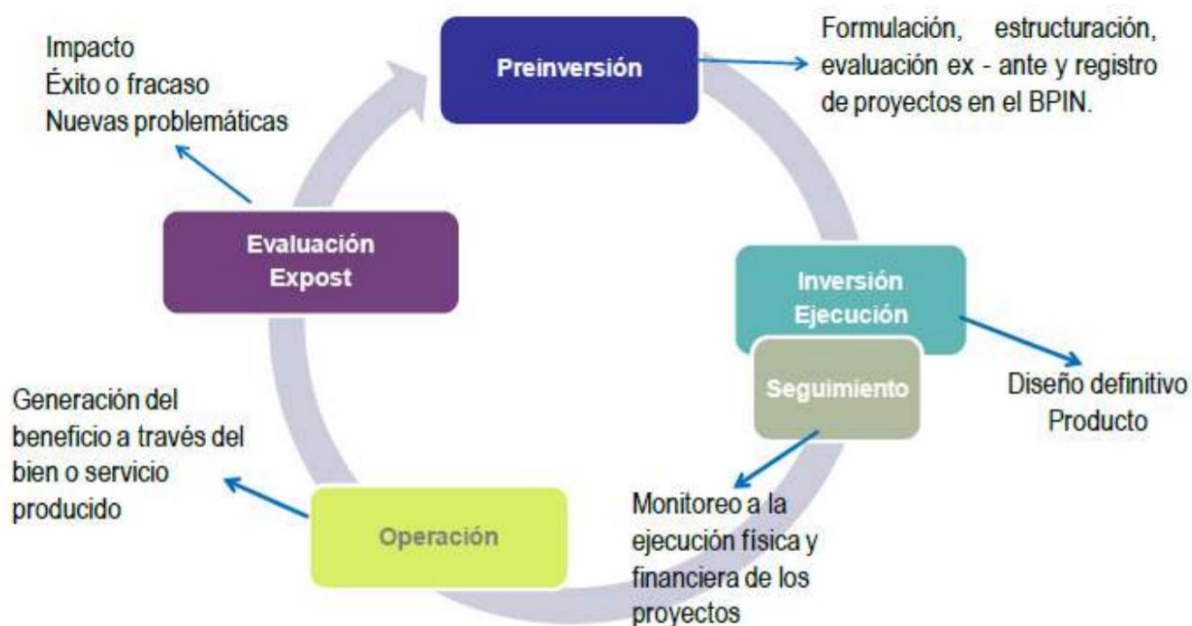
### **7.1. Metodología General Ajustada (Procesos y Herramientas del MGA)**

MGA (Metodología General Ajustada). Es una herramienta informática que ayuda de forma esquemática y modular el desarrollo de los procesos de identificación, preparación, evaluación y programación de los Proyectos de Inversión.



Esta metodología está conformada por cuatro (4) etapas (preinversión, inversión, operación y evaluación ex post), en los cuales se debe describir la información del proyecto de inversión a la hora de ser formulado. El proyecto de inversión se desarrolla en 4 etapas, las cuales se muestran en la figura 23.

**Figura 23.** Ciclo de vida de proyecto bajo metodología MGA.



**Fuente.** DNP. (2013). Manual de Soporte Conceptual Metodología General para la Formulación y Evaluación de Proyectos – DNP. Recuperado de <https://etite.edu.co/archives/investigacion/ManualConceptual.pdf>

Los proyectos son dinámicos, pues fluyen dentro de su ciclo desarrollando en cada una de sus etapas una función específica y fundamental para garantizar su continuidad y éxito en sus resultados.

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO,  
PLANEACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROYECTO  
PILOTO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA EL  
RESGUARDO INDÍGENA POCHARCO, UBICADO EN EL  
MUNICIPIO DE NATAGAIMA - DEPARTAMENTO DEL  
TOLIMA.**

## **7.2. Gestión de proyectos sostenibles (Procesos y Herramientas del GPM)**

GPM (Green Project Management - Administración Verde de Proyectos). Es la organización de entrenamiento en sostenibilidad más grande del mundo, presente en 145 países, que capacita y certifica profesionales del área de proyectos.

La Gestión de Proyectos Sostenibles o Green Project Management, tiene en cuenta los factores ambientales como elementos importantes en los resultados finales de un proyecto. Es el entrelazamiento o la intersección de las prácticas de negocios amigables con el medioambiente con la disciplina de la administración de proyectos.

GPM ayuda a las empresas a ser más resilientes, a los gobiernos más eficientes y a las sociedades más sólidas, para cuidar los recursos naturales conjuntamente.

La metodología utilizada por GPM, es conocida como estándar P5 [Personas (People) – Planeta (Planet) – Beneficio (Profit) – Procesos (Processes) – Producto (Product)]. El cual correlaciona los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU, con la Guía para la Elaboración de Memorias de Sostenibilidad GRI G4 (Global Reporting Initiative – Versión 4 de la Guía).

Este estándar, considera el ciclo de vida del producto desde una perspectiva social, ambiental y económica. Durante cada fase del proyecto se debe tener en cuenta la sostenibilidad para asegurar el proyecto del producto desde el momento en que se concibe la idea del producto hasta que se entrega en su forma final.

Luego de reevaluar los objetivos de Desarrollo Sostenible u Objetivos Mundiales de la ONU aplicables a este proyecto piloto, se definió que los objetivos que se tendrán en cuenta son los siguientes:

**Figura 24.** Objetivos de desarrollo sostenible de la ONU.



**Fuente.** Objetivos de desarrollo sostenible de la ONU. Recuperado de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>

## 8. Marco institucional

### 8.1. Características generales de la organización (Alcaldía de Natagaima, Tolima 2018).

La Alcaldía de Natagaima es una entidad local básica de la Organización Territorial del Estado y posee personalidad jurídica plena de derecho público, con autonomía local donde se entiende el derecho y la capacidad efectiva de las entidades locales de ordenar y gestionar una parte importante de los asuntos públicos, en el marco de la ley, bajo su propia responsabilidad y en beneficio de sus habitantes; la cual está dirigida por el Alcalde David Mauricio Andrade elegido a través de las elecciones municipales, con la función de Dirigir y coordinar todas las labores administrativas del municipio y actuar como representante legal ante todas las entidades sociales, gubernamentales y administrativas, también, ejerce autoridad de policía y judicial del municipio como órgano principal, entre otras funciones, por todas estas actividades en cabeza de la Alcaldía Municipal de Natagaima.

La Alcaldía no está orientada a satisfacer un cliente determinado, si no a trabajar conjuntamente en las decisiones que lleven al desarrollo de una región, los procesos que adelante para alcanzar su objetivo principal nos enmarcan una organización que se basa en proyectos contemplados en el plan de desarrollo municipal, que cumplen con estrictos pasos de aprobación, lo que requiere

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO,  
PLANEACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROYECTO  
PILOTO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA EL  
RESGUARDO INDÍGENA POCHARCO, UBICADO EN EL  
MUNICIPIO DE NATAGAIMA - DEPARTAMENTO DEL  
TOLIMA.**

que cada secretaria se encargue de llevar a cabo su función para este u otro proyecto y así mismo se articule con otras áreas para su complementación.

Se desarrollan tres políticas básicas que son:

- Gerencia social al servicio de la comunidad: Se actúa dentro del esquema de eficiencia y efectividad, con participación de la comunidad, incluyendo los Resguardos Indígenas existentes en el Municipio, de tal manera que haya en esencia una excelente gobernabilidad sin mayores costos, propiciando un clima de mayor y mejor atención a la ciudadanía.
- Mejoramiento de las finanzas públicas municipales: Con un criterio de austeridad y control del gasto, propicia un gran esfuerzo para el mejoramiento continuo del manejo financiero y fiscal de Natagaima, de tal forma que puedan priorizarse adecuada y estratégicamente el uso de los recursos públicos para el cumplimiento de los fines esenciales del Estado en el Municipio y de las metas establecidas en el plan municipal de desarrollo “Natagaima Somos Todos”.
- Modernización de la administración pública municipal: se realizan todos los esfuerzos posibles, para mejorar las condiciones y la calidad del servicio al ciudadano, propiciando un mejoramiento de la infraestructura física y tecnológica de la administración, desarrollo del talento humano, con base en un control austero del gasto, con el fin de incrementar la eficiencia y eficacia de la gestión pública municipal.

Cuenta con una estructura de gobierno de carácter centralizado, en cabeza del Despacho de la Alcaldía Municipal, de la cual dependen directamente:

- Secretaría General y de Gobierno.
- Secretaría de Hacienda.

- Secretaría de Obras Públicas.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente.
- Secretaría de Planeación y Desarrollo Social.

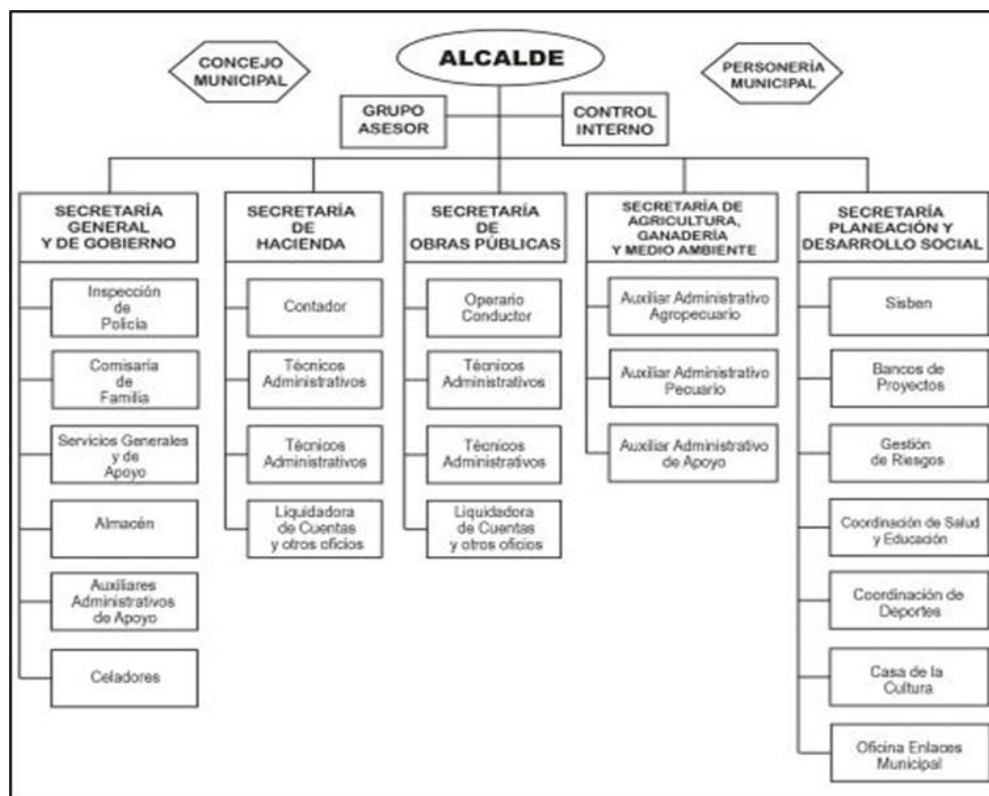
A partir de la organización formal empleando una departamentalización funcional, la alcaldía municipal de Natagaima, ha estructurado un organigrama general que nos permite evidenciar tres niveles jerárquicos, teniendo en cuenta que los niveles organizacionales existen porque hay límite al número de personas que un gerente puede supervisar con efectividad, en este caso a la cabeza de la organización tenemos el alcalde municipal como nivel directivo, del cual se desprende un control interno y un grupo de asesores, luego se desprende las cinco secretarías bajo su propia dirección, coordinación y supervisión, conformando el nivel ejecutivo; de igual forma el organigrama nos refleja una dependencia que se desprende directamente de cada secretaria que constituye el nivel operativo; de la anterior descripción, nos podemos hacer una idea muy cercana de su ámbito de control y es precisamente una organización formal con Departamentalización por función con tramos estrechos, lo que facilita una supervisión directa, un control estricto y una comunicación rápida entre subordinados y superiores, teniendo en cuenta que existen políticas claras y que así mismo se ha procurado no involucrarse demasiado en las funciones y decisiones de cada departamento.

El alcalde, quien no sólo posee autoridad respecto a las decisiones que se deban tomar, derecho desencadenado por la posición del cargo que ostenta, si no también es una persona con un poder decisorio de influir en las acciones y creencias de sus colaboradores, habilidad que no todo empresario guía de una organización posee; de igual forma, la línea de autoridad refleja la relación de autoridad superior-subordinado y con respecto a la organización he observado que está claramente definida gracias no sólo a su estructura formal, si no a la competencia y preparación profesional que tiene cada miembro que pertenece a la “cabeza” o “cima” de un departamento quien será el responsable de mostrar resultados.

## 8.2. Organigrama

El organigrama de la alcaldía municipal de Natagaima se muestra en la figura 25. Para el caso de los proyectos de energía que se llevan a cabo en el municipio, están liderados por el alcalde municipal con el apoyo de las secretarías de Hacienda y Planeación y Desarrollo Social.

**Figura 25.** Organigrama alcaldía municipal de Natagaima.



**Fuente.** Alcaldía Municipal, 2020.

## 8.3. Stakeholders de la organización

- Alcaldía Municipal de Natagaima – Alcalde: David Mauricio Andrade – Patrocinador.
- Secretaría de Hacienda - Eda María Martínez – Interesado.
- Secretaría de Planeación y Desarrollo Social - Virgilio Rojas Guluma – Interesado.
- Comunidad – Resguardo Indígena Pocharco – Interesados.

#### **8.4. Misión**

En el año 2025, Natagaima habrá consolidado una transformación multidimensional, sistémica, sostenible e incluyente, de sus fuerzas vivas, afirmando su vocación agropecuaria, con algunos productos verdes certificados de alto impacto en el mercado nacional e internacional, convirtiendo al Municipio en un eje estratégico de la competitividad regional y nacional y comprometido con el desarrollo sostenible y su productividad, garantizando el acceso progresivo de los niños, adolescentes y jóvenes a la garantía de sus derechos al desarrollo integral, caracterizado por lograr un amplio ejercicio de la participación democrática y de la equidad social, en el marco del profundo respeto y promoción permanente de los derechos humanos, con una fuerte identidad y arraigo cultural, como “Meca del Folclor” y el afianzamiento del tejido social y productivo mediante alianzas público – privadas entre la administración pública, la comunidad y la sociedad civil organizada, de tal forma que Natagaima se reconozca como un modelo regional y nacional de calidad de vida, oportunidades sociales, económicas y de convivencia pacífica (Alcaldía de Natagaima, Tolima, 2018).

#### **8.5. Visión**

Natagaima conforme a lo señalado por las normas y regulaciones vigentes, prestará los servicios que determinen la constitución, las leyes, ordenanzas y acuerdos municipales, y planificará y promoverá su desarrollo integral articulado a los niveles departamental y nacional, mediante el uso de las competencias otorgados a nivel constitucional y legal, que afiancen el tejido social, político, participativo y productivo municipal, que garanticen el acceso progresivo a los derechos humanos, sociales y económicos de sus habitantes, en especial, para la infancia, la adolescencia y a juventud Natagaima, a través del fortalecimiento de las estructuras organizativas y espacios de participación para las personas, organizaciones sociales y económicas y el desarrollo de políticas e instrumentos que propicien además de la formación de sus diversos actores sociales, institucionales y humanos, el mejoramiento de sus indicadores de calidad de vida, democratizen el acceso a bienes y servicios en términos de equidad, incluyendo el crédito de fomento en escalas apropiadas y ajustadas a sus propias realidades y necesidades, encaminadas al

permanente y creciente acceso a los beneficios del progreso y del bienestar que merece la población del Municipio.

## **9. Diseño metodológico**

Dadas las características del proyecto se implementó una metodología de investigación aplicada, la cual inicialmente se enfocó en la delimitación del problema de investigación mediante una visita de campo, posteriormente se analizó la información recolectada y se aplicaron los conocimientos pertinentes para la formulación de la propuesta para el estudio de factibilidad para el diseño, planeación y construcción de un proyecto piloto de energía solar fotovoltaica para el Resguardo Indígena Pocharco, ubicado en el municipio de Natagaima - departamento del Tolima que finalmente se materializaron en el formato MGA.

Inicialmente se identificó mediante una visita de campo la condición actual del estado de las viviendas del Resguardo Indígena Pocharco, la composición de la población y las necesidades energéticas de la comunidad. El proceso llevado a cabo consistió en la recolección, tratamiento, análisis y presentación de resultados, para lo cual se implementó la observación directa, censo a las 29 viviendas del resguardo, entrevista con el Gobernador del Resguardo y la secretaria de planeación municipal. Posteriormente se analizó dicha información para establecer las alternativas de solución.

Se inició con una etapa de socialización donde es un componente principal para la aceptación del proyecto y para la selección de la mejor alternativa. Para el caso colombiano, cuando se plantea desarrollar proyectos de explotación y/o de desarrollo que intervengan el territorio de grupos étnicos (Indígenas, Afrodescendientes, Raizales y Palanqueros), se debe realizar un procedimiento de consulta previa ante el Ministerio del Interior; en el que la comunidad debe aprobar el proyecto, debido a la autonomía y soberanía con la que cuentan. En el caso que la



comunidad sea quien propone el proyecto, y entre un grupo técnico acompañante, se permite realizar un proceso denominado Consentimiento Informado (Rodríguez, 2014); en el Anexo 1 se presenta el Acta de inicio de la investigación, firmada por los miembros del cabildo indígena Pocharco representado por el Gobernador del resguardo, donde se manifiesta el consentimiento de la comunidad para el desarrollo de la investigación.

Se terminó con una evaluación de la zona, donde se estudió el comportamiento de variables climatológicas determinantes para seleccionar la tecnología, es determinar la abundancia e intensidad con que se dispone de los recursos naturales. Es importante determinar la frecuencia de ocurrencia de cada tipo de recurso, para evaluar la calidad y seguridad con que se dispone de dichas fuentes energéticas. Deben recolectarse registros de velocidad, dirección predominante y frecuencia de los vientos, radiación solar, insolación, caudales de las corrientes de agua, saltos, precipitación, temperatura y presión. Para obtener esta información hidrometeorológica, es necesario realizar las mediciones directamente en el sitio donde se desee implementar el sistema, o ubicar las estaciones meteorológicas que existan en la zona o en un lugar cercano.

En este orden de ideas, para determinar el potencial de energía solar de la zona, los esfuerzos iniciales se concentraron en identificar los parámetros climatológicos de sol. Este proceso consistió en las siguientes actividades: inventario de registros climatológicos, procesamiento de la información para obtener la media anual, representación gráfica, análisis del comportamiento de las variables, interpretación.

Partiendo de los criterios de planeación del proyecto y la información previamente recopilada se tuvieron en cuenta las siguientes variables para el estudio de factibilidad:

- El impacto económico, social, cultural y ambiental.
- El impacto o beneficio a comunidades étnicas minoritarias.
- La integración municipal, regional y nacional.
- La inversión en infraestructuras físicas para uso de energías no convencionales.

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO,  
PLANEACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROYECTO  
PILOTO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA EL  
RESGUARDO INDÍGENA POCHARCO, UBICADO EN EL  
MUNICIPIO DE NATAGAIMA - DEPARTAMENTO DEL  
TOLIMA.**

En este sentido, la inversión en infraestructuras físicas de cara al uso de energías no convencionales está incluida dentro del plan de desarrollo vigente para el departamento del Tolima 2016. (Gobernación del Tolima 2016).

Dado que es necesario involucrar a la comunidad en el desarrollo del proyecto de energía solar; el enfoque de energía comunitaria posibilita que sea la población directamente involucrada, quienes se reúnan e identifiquen sus necesidades y trabajen conjuntamente por el propósito de mejorar su calidad de vida. De tal manera, con una población organizada por un objetivo común, es más probable solicitar y que se brinde apoyo técnico y financiero para la ejecución del proyecto.

## **10. Desarrollo de la investigación**

La investigación estuvo orientada bajo un proceso que consistió en la recolección, tratamiento, análisis y presentación de resultados, para lo cual se levantó la información mediante la aplicación de diversas técnicas de recolección de datos que van desde la observación directa hasta la aplicación de entrevistas directas con la Alcaldía municipal de Natagaima y la comunidad, donde se observó la situación energética para responder el problema planteado.

La cual fue dividida por fases:

- Fase 1: Levantamiento de la información
- Fase 2: Medición de la factibilidad con base en la planeación del proyecto.
- Fase 3 Alternativas de solución

## 10.1. Levantamiento de información

### 10.1.1. Descripción de las unidades de análisis

**Tabla 2.** Cuadro de categorías, dimensiones, instrumentos y unidades de análisis.

ASPECTO	DIMENSIONES	INSTRUMENTOS	RESULTADOS
TÉCNICO	Definición de la ubicación y montaje de la estructura de soporte de los Paneles Fotovoltaicos. Estudio de la Radación Solar y el área del Resguardo. Definición de equipos y materiales para el sistema fotovoltaico. Identificación de los tipos de vivienda por material de construcción Análisis de la demanda de electrodomésticos.	Trabajo de Campo. Mapa de radiación y brillo solar de Colombia	Diseño preliminar del modelo a implementar. Cálculos de la radiación solar y condiciones del terreno. Listado de los equipos y materiales a utilizar. Tipos de vivienda Porcentaje de demanda de electrodomésticos.
SOCIAL	Análisis de las características demográficas de la población. Análisis de los servicios básicos en el resguardo. Análisis de conocimientos de alternativas fotovoltaicas. Análisis de disponibilidad de pago del modelo.	Entrevista Censo	Porcentaje a nivel de género del resguardo. Porcentaje de cubrimiento de servicios básicos en el resguardo. Porcentaje de conocimiento sobre alternativas fotovoltaicas. Porcentaje de disponibilidad de pago.
ECONÓMICA	Análisis de costos de implementación del modelo. Análisis financiero y económico de la implementación del modelo Análisis de ingresos y beneficios.	MGA (Módulo evaluación financiera) Cotizaciones	Presupuesto en cadena de valor. Indicadores de evaluación económica. Valor total de ingresos y beneficios.
LEGAL	Análisis de la Ley 855 de 2003 por la cual se definen las Zonas No Interconectadas. Análisis de la Ley 1715 de 2014 promover el desarrollo y la utilización de las Fuentes No Convencionales de Energía Decreto 1623 de agosto de 2015	Documentos normativos.	Validar el cumplimiento del marco legal y normativo para la implementación del proyecto.

Fuente. Los autores.

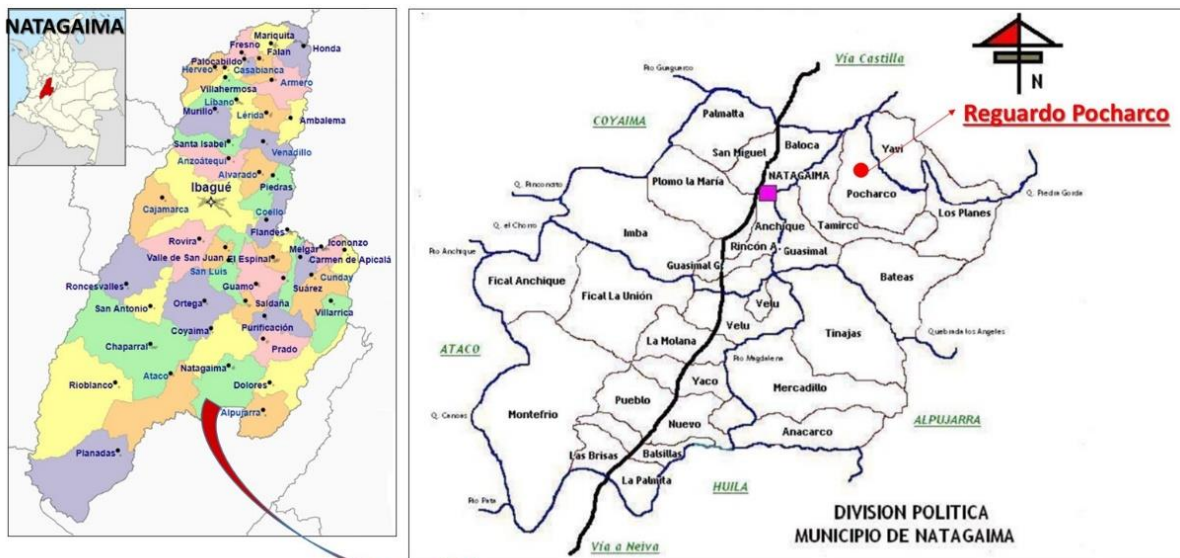
**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO,  
PLANEACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROYECTO  
PILOTO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA EL  
RESGUARDO INDÍGENA POCHARCO, UBICADO EN EL  
MUNICIPIO DE NATAGAIMA - DEPARTAMENTO DEL  
TOLIMA.**



### 10.1.2. Localización del proyecto

El Resguardo de Pocharco se encuentra en la zona rural del municipio de Natagaima, el cual se encuentra al sur del departamento y hace parte de la subregión central, limita por el norte con los municipios de Coyaima y Prado, al sur con los municipios de Aipe y Villavieja del Departamento del Huila, al oriente con los municipios de Dolores y Alpujarra y al occidente con el municipio de Ataco.

**Figura 26.** Mapa de la división política del Municipio de Natagaima.



Fuente. Mapas interactivos. (2021). Recuperado de <https://mapasinteractivos.didactalia.net/comunidad/mapasflashinteractivos/recurso/mapa-politico-de-tolima-colombia-igac/3d87d003-5d47-462b-8095-22a66fb04c9b>

### 10.1.3. Aspecto poblacional

El resguardo indígena Pocharco, que se encuentra ubicado en el margen derecho del río Magdalena, en zona rural en la Vereda del mismo nombre, en límites con la Vereda y Quebrada

de Yavi. Este resguardo considera que la tierra es la base de los indígenas y de la economía de las personas que habitan el territorio.

El total de población del Resguardo Pocharco es de 29 familias y 260 personas, su máxima autoridad es el gobernador del resguardo. En la figura 27, se puede observar la entrada principal al resguardo.

**Figura 27.** Entrada al resguardo indígena Pocharco.



**Fuente.** Los autores, Tomada el 31 de agosto de 2020.

#### 10.1.4. Economía y desarrollo

El municipio de Natagaima es un alto porcentaje rural, sus actividades económicas están sustentadas en la agricultura, la ganadería y la piscicultura básicamente. Las actividades agrícolas más importantes son el cultivo del algodón, la producción de plátano y el cultivo de limón. En cuanto a la ganadería se expresa producción bovina y porcina. El comercio del

municipio está representado por pequeños establecimientos que abastecen la población de víveres y demás productos que traen en su mayoría de otros municipios.

### 10.1.5. Población y la muestra

Para este proyecto se utilizó la técnica del censo, el cual es el recuento de las 29 familias que se encuentran en nuestra área de estudio. En la figura 28 se muestra la estructura del censo utilizada.

**Figura 28.** Características de un censo.



**Fuente:** Slideshare. (2013). Censo, concepto y tipos de censo. Recuperado de <https://pt.slideshare.net/rogeroswaldo123/censo-concepto-tipos-de-censo/7>

#### 10.1.5.1. Recolección de la información

Los datos se obtuvieron del censo, encuestas, entrevistas y mediante observación a los habitantes del Resguardo siendo 29 casas en total, arrojando las necesidades que poseen en sus hogares por

la falta de la energía eléctrica y se evidencia los bajos recursos económicos con los que cuenta la comunidad. Exclusivamente se conversó con las personas mayores a 20 años mediante una encuesta en el censo realizado.

El cuestionario del censo está compuesto por:

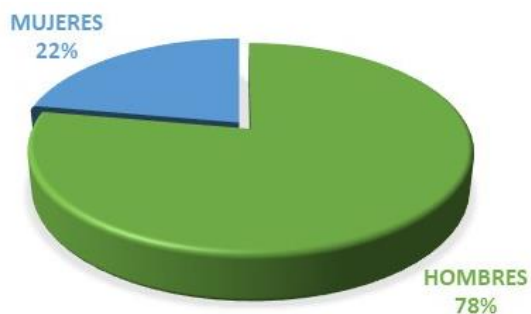
- Preguntas dicotómicas, de tal manera que el encuestado sólo escoja una de las dos respuestas.
- Preguntas de selección múltiple, donde podrán elegir respuestas que contengan varias alternativas.
- Preguntas de sinceridad, que servirán para evidenciar el interés del censado.

**Tabla 3.** Datos del censo realizado.

	Variables	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje Válido	Porcentaje Acumulado
Válidos	Hombres	140	78%	78%	78%
	Mujeres	70	22%	22%	100%
	Total	210	100%	100%	

**Fuente:** Los autores.

**Figura 29.** Distribución de la clasificación de la población censada.



**Fuente:** Los autores.

### Resultados del análisis:

La distribución de la población está conformada de la siguiente manera: 78% hombres y 22% mujeres.

#### 10.1.5.1.1. Presentación de los resultados de las encuestas

**Pregunta 1:** ¿Usted cuenta con energía eléctrica en su vivienda?

**Tabla 4.** Resultados de la pregunta 1.

	Variables	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje Válido	Porcentaje Acumulado
<b>Validos</b>	No	29	100%	100%	100%

**Fuente:** Los autores.

### Resultados del análisis:

El 100% de los censados no posee servicio de energía eléctrica en sus viviendas.

**Pregunta 2:** ¿Considera que el acceso a la energía eléctrica mejoraría su calidad de vida?

**Tabla 5.** Resultados de la pregunta 2.

	Variables	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje Válido	Porcentaje Acumulado
<b>Validos</b>	No	29	100%	100%	100%

**Fuente:** Los autores.



**Resultados del análisis:**

El 100% de los censados están de acuerdo que el acceso a la energía eléctrica mejoraría calidad de vida.

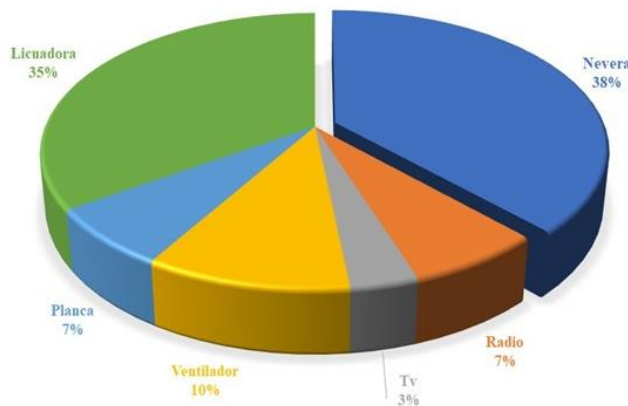
**Pregunta 3:** ¿Nombre tres (3) electrodomésticos de alta necesidad que requieren para desarrollar las labores diarias?

**Tabla 6.** Resultados de la pregunta 3.

	Variables	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje Válido	Porcentaje Acumulado
Válidos	Nevera	11	38%	38%	38%
	Radio	2	7%	7%	45%
	Tv	1	3%	3%	48%
	Ventilador	3	10%	10%	58%
	Plancha	2	7%	7%	65%
	Licnadora	10	35%	35%	100%
	Total	29	100%	100%	

**Fuente:** Los Autores.

**Figura 30.** Distribución de los 3 electrodomésticos que más requieren para desarrollar las labores diarias.



**Fuente:** Los autores.

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO,  
PLANEACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROYECTO  
PILOTO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA EL  
RESGUARDO INDÍGENA POCHARCO, UBICADO EN EL  
MUNICIPIO DE NATAGAIMA - DEPARTAMENTO DEL  
TOLIMA.**

**Resultados del análisis:**

- El 38% de los censados necesitan utilizar con mayor necesidad la nevera.
- El 35 % la licuadora.
- El 10% el ventilador.
- El 7% la plancha.
- El 3% el televisor.
- El 7% la radio.

**Pregunta 4:** ¿Usted aceptaría la implementación de paneles solares fotovoltaicos por parte de la alcaldía?

**Tabla 7.** Resultados de la pregunta 4.

	Variables	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje Válido	Porcentaje Acumulado
Válidos	No	29	100%	100%	100%

**Fuente:** Los autores.

**Resultado del análisis:**

El 100% de los censados aceptarían que el municipio le proporcione la implementación de paneles fotovoltaicos en sus viviendas para dotarla de energía eléctrica para que puedan utilizar electrodomésticos.

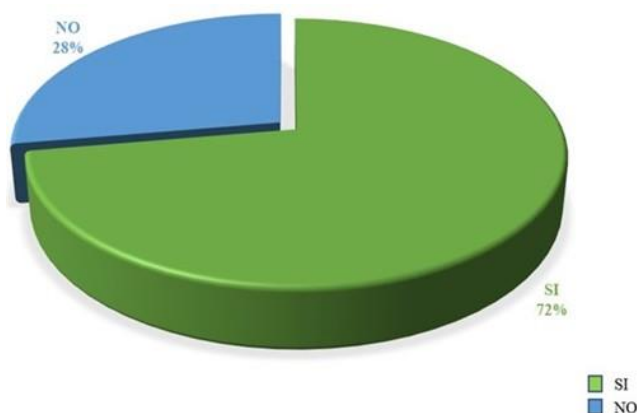
**Pregunta 5:** ¿Está dispuesto a pagar a través de una planilla el mantenimiento y limpieza de los paneles solares fotovoltaicos por parte del municipio?

**Tabla 8.** Resultados de la pregunta 5.

	Variables	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje Válido	Porcentaje Acumulado
<b>Válidos</b>	Si	21	72%	72%	72%
	No	8	28%	28%	100%
	Total	29	100%	100%	

**Fuente:** Los autores.

**Figura 31.** Distribución sobre la disposición de la comunidad de pagar una planilla de servicio energía eléctrica de costo mínimo que servirá para el mantenimiento y limpieza de los paneles solares fotovoltaicos por parte del municipio.



**Fuente:** Los autores.

**Resultado del análisis:**

El 72% de los censados estarían dispuestos a pagar una planilla de energía eléctrica con costo mínimo que servirá para el mantenimiento y limpieza de los paneles solares fotovoltaicos por parte de la municipalidad y el 28% no.

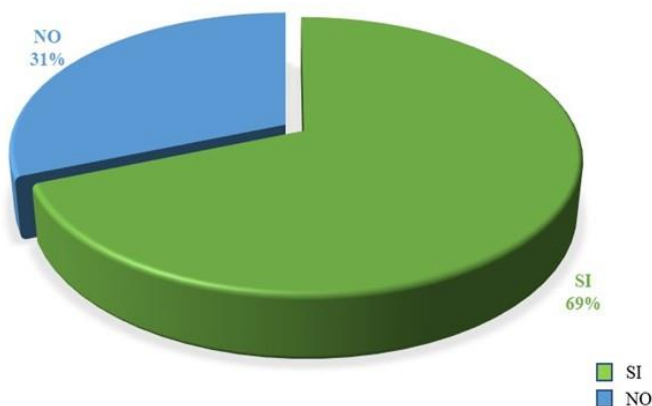
**Pregunta 6:** ¿Tiene conocimiento acerca de la preservación del ambiente con la implementación del sistema de energía solar fotovoltaica?

**Tabla 9.** Resultados de la pregunta 6.

	Variables	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje Válido	Porcentaje Acumulado
<b>Válidos</b>	Si	20	69%	69%	69%
	No	9	31%	31%	100%
	Total	29	100%	100%	

**Fuente:** Los autores.

**Figura 32.** Distribución del conocimiento de la población acerca de la preservación del ambiente con la implementación de la energía solar fotovoltaica.



**Fuente:** Los autores.

**Resultado del análisis:**

El 69% de los censados conocen que con la implementación de un diseño de sistema solar ayuda a preservar el medio ambiente y el 31% no.

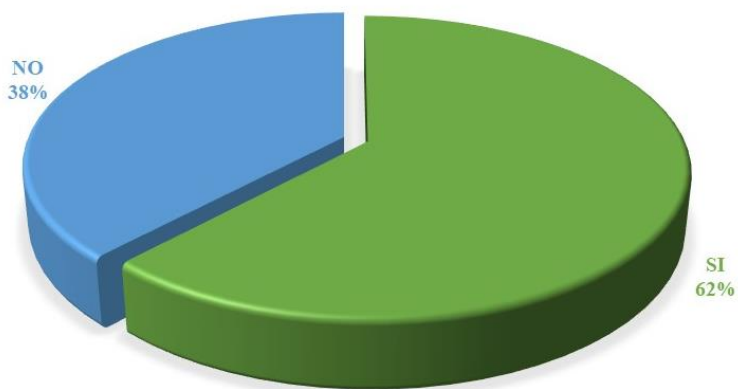
**Pregunta 7:** ¿Tiene conocimiento sobre los sistemas solares fotovoltaicos y su funcionamiento?

**Tabla 10.** Resultados de la pregunta 7.

	Variables	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje Válido	Porcentaje Acumulado
<b>Válidos</b>	Si	18	62%	62%	62%
	No	11	38%	38%	100%
	Total	29	100%	100%	

**Fuente:** Los autores.

**Figura 33.** Distribución sobre el conocimiento de la comunidad acerca de los sistemas solares fotovoltaicos y su funcionamiento.



**Fuente:** Los autores.

**Resultado del análisis:**

El 62% de los censados conocen que es un sistema solar fotovoltaico y cómo funciona y el 38% no.

#### **10.1.5.2. Análisis de Resultados de la Investigación**

Una vez identificados las diferentes características, de la población objeto del proyecto y la necesidad de ésta, se estableció que el sistema fotovoltaico es la mejor alternativa para satisfacer las necesidades de la población objetivo, lo anterior teniendo en cuenta las diferentes variables analizadas en la formulación del proyecto, tales como clima, necesidades de la población, condiciones geográficas, entre otras.

Como resultado de la metodología establecida, es decir de las encuestas y entrevistas realizadas, las conclusiones obtenidas mediante la información recolectada se estableció que con la puesta en marcha de este proyecto se beneficiaran personas de bajos recursos que a la fecha no cuenta con energía, lo cual les permitirá mejorar su calidad de vida, acceso a la información, es decir ayudar a que la población en general cuente con mayores y mejores oportunidades, en el ámbito económico, educativo, laboral entre otros.

#### **10.1.5.3. Informe del Resultado del Trabajo de Campo**

Como resultado del estudio de caso, se pudo establecer que el Resguardo Indígena Pocharco, no cuenta con un fluido eléctrico que les permita tener acceso a diferentes oportunidades o mejorar su calidad de vida.

Esta metodología demostró que el problema evidenciado en esta población se puede solventar utilizando fuentes de energía limpia con un sistema fotovoltaico, el cual se propone este proyecto.

##### **10.1.5.3.1. Análisis de Datos y Discusión de Resultados**

Mediante este instrumento se pudo establecer las diferentes falencias que persisten en la población objeto del proyecto, y se determinó que es viable. Es de precisar que el 100% de la población encuestada no cuenta con energía eléctrica, por lo cual se puede implementar el

proyecto para mejorar la calidad de vida de los habitantes, adicionalmente es importante mencionar que el 70% de los hogares tienen población en edad escolar y con esta alternativa estas personas podrían tener mejores posibilidades a futuro.

## **10.2. Medición de la factibilidad con base en la planeación del proyecto**

De acuerdo con el análisis de los resultados obtenidos arrojo la siguiente medición de factibilidad con base en la planeación del proyecto.

### **10.2.1. Factibilidad Técnica**

La factibilidad técnica de este proyecto se identifica a través de un estudio técnico de producción de energía fotovoltaica para una casa promedio con dimensiones estimadas entre 25m<sup>2</sup> y 35m<sup>2</sup>, con el objetivo de analizar si la implementación de un sistema solar fotovoltaico es viable técnicamente en esta zona, teniendo en cuenta las características del lugar de estudio.

#### **10.2.1.1. Reconocimiento del territorio.**

Se realiza el reconocimiento del territorio del resguardo Indígena Pocharco con 4.441 hectáreas de bosque seco tropical, que se hizo con acompañamiento de los líderes de la comunidad y el Gobernador del Resguardo, para llegar al resguardo desde Ibagué, se debe hacer un recorrido de aproximadamente 4 horas y media. De acuerdo con la visita al resguardo y con referencia del Mininterior, la vía principal y más utilizada por las personas del resguardo es: de Natagaima hacia el paso de la barca (moto, carro, a pie). En el paso de la barca, las personas deben utilizar el planchón o una canoa para pasar al otro lado del río Magdalena y de allí se toma el camino hacia la vereda Los Ángeles y de ahí son aproximadamente 30 minutos en moto o carro y 2 horas a pie hasta la vereda de Pocharco donde se encuentra la sede y las viviendas de algunos comuneros. La vía alterna es saliendo por el municipio de Prado, pasando por la comunidad vecina Yavi, y saliendo al municipio de Purificación (en carro, o moto). Las dos vías de acceso se encuentran en un estado deteriorado por el paso de maquinaria pesada en épocas de la violencia, donde guerrilla y paramilitares recorrían sus territorios de manera continua.

#### **10.2.1.2. Geomorfología y relieve**

Las cordilleras, serranías y sierras del municipio presentan una morfología sencilla, pero con diferentes asociaciones y complejos de paisajes que se encuentran definidos por las características litológicas, climáticas y endógenas de los mismos. De esta forma se encuentran las geoestructuras de las cordilleras de plegamiento Oriental y Central y la gran cuenca del Magdalena (Alcaldía Municipal de Natagaima. “Tomo I. Diagnostico”. 155-156.). Dadas las geoestructuras mencionadas anteriormente se da lugar a las provincias fisiográficas de la cordillera Central, la cordillera Oriental y la depresión del Magdalena (Alcaldía Municipal de Natagaima. “Tomo I. Diagnostico”. 156.).

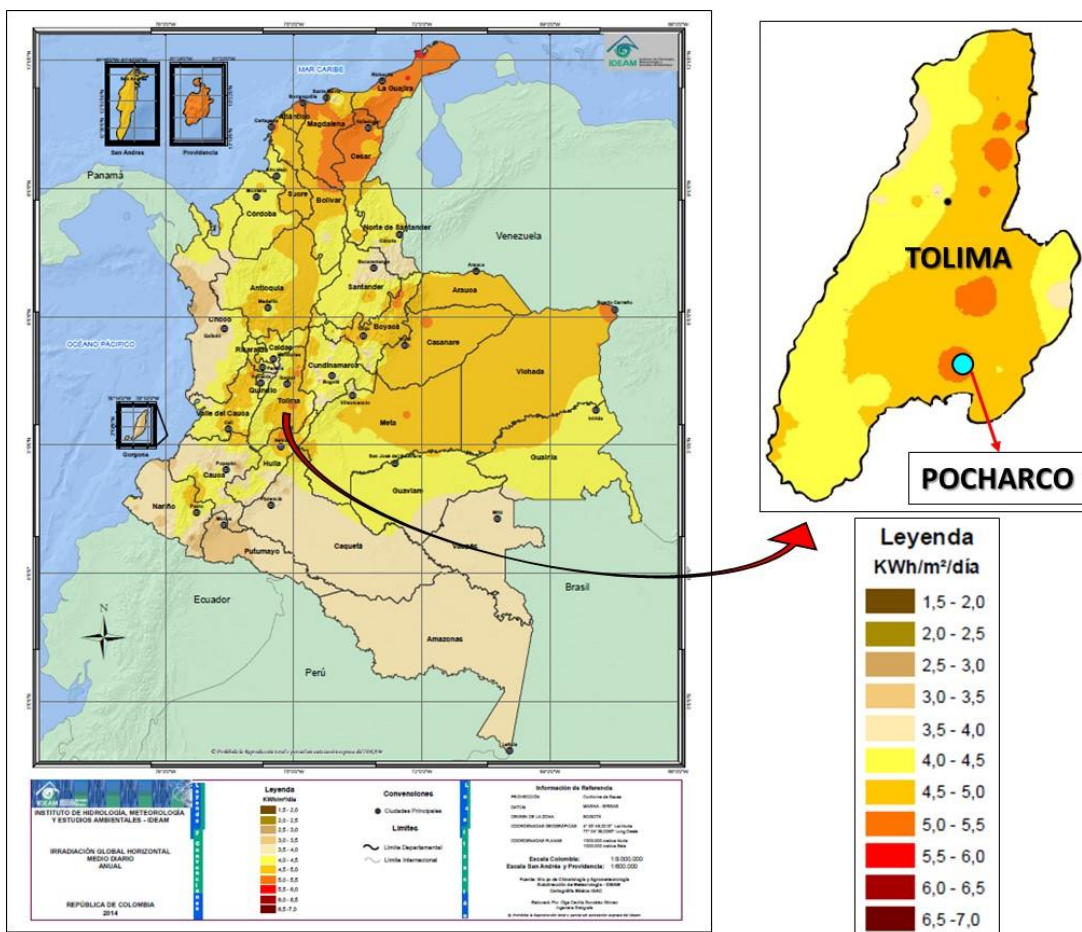
#### **10.2.1.3. Radiación solar**

La posición geográfica del departamento del Tolima lo hace territorio favorable para la producción de energía solar fotovoltaica.

Con una temperatura cercana a los 37°C, la vereda de Pocharco tiene una irradiación solar media anual entre los 4 a 5 KWh/m<sup>2</sup>/día. Ver figura 34.



**Figura 34.** Mapa de Irradiación Solar Medio Diario Anual - Vereda Pocharco, Municipio de Natagaima.



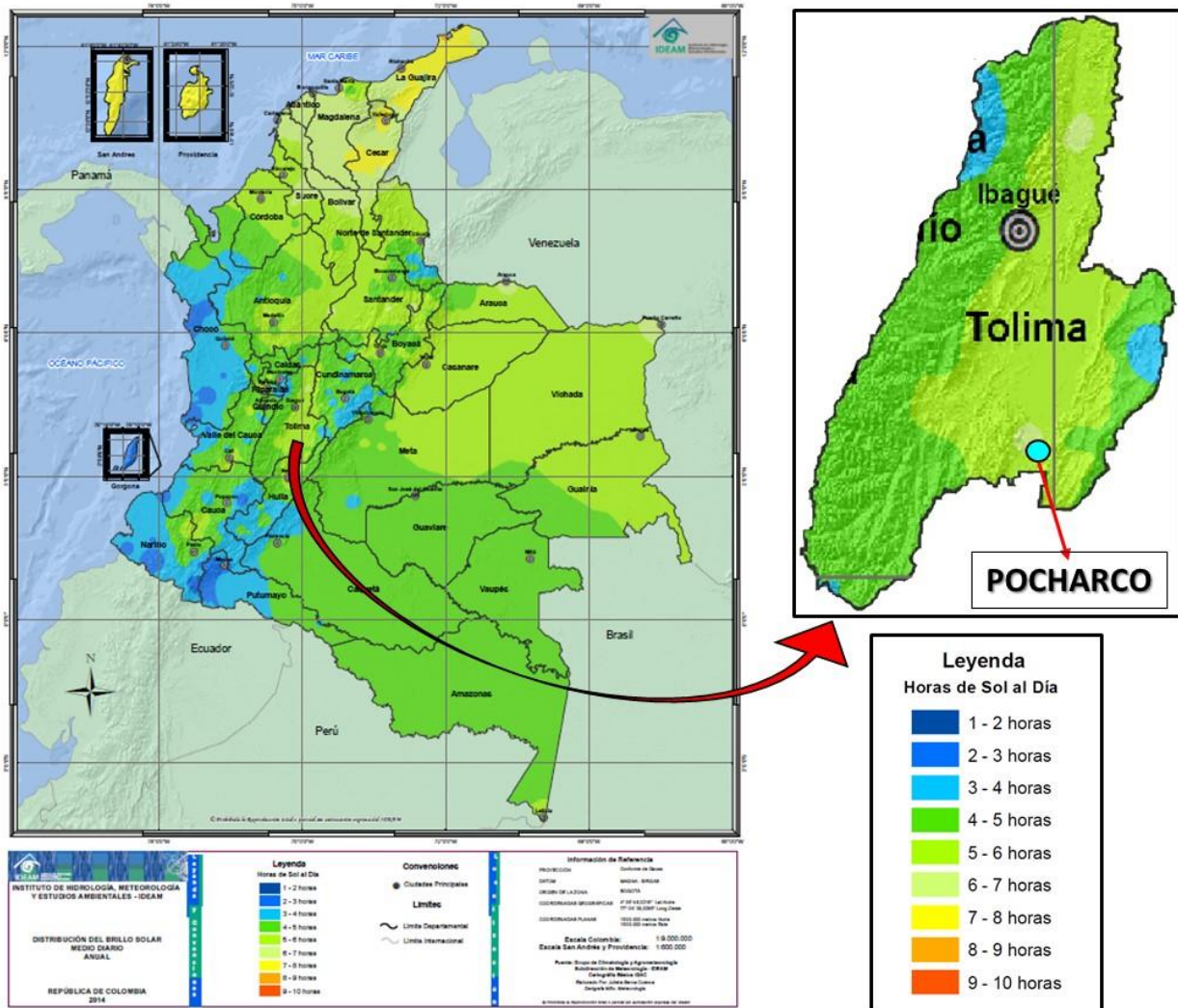
**Fuente.** Ideam, 2014.

#### 10.2.1.4. Brillo solar

Con relación a las horas de brillo solar medio anual, la comunidad de Pocharco, cuenta con brillo solar de 5 a 6 horas diarias. Ver figura 35.

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO, PLANEACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROYECTO PILOTO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA EL RESGUARDO INDÍGENA POCHARCO, UBICADO EN EL MUNICIPIO DE NATAGAIMA - DEPARTAMENTO DEL TOLIMA.**

**Figura 35.** Mapa Distribución del Brillo Solar Medio Diario Anual - Vereda Pocharco, Municipio de Natagaima.



Fuente. Ideam, 2014.

**10.2.1.5. Radiación y brillo solar disponible**

La incidencia solar mensual promedio sobre la comunidad indígena Pocharco se muestra en la tabla 11:

**Tabla 11.** Radiación solar promedio durante cada mes.

Ene	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
4,6	4,5	4,6	4,6	4,6	4,7	4,9	5,0	4,9	4,7	4,4	4,3

Promedio: 4.3 - 5.0 Wh/m<sup>2</sup>

**Fuente.** Ideam, 2014.

En la tabla 12, se muestra el brillo solar mensual promedio sobre la comunidad indígena Pocharco:

**Tabla 12.** Brillo solar promedio durante cada mes.

Ene	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
160	160	135	140	150	175	195	190	185	150	145	165

Promedio: 162.5 horas

**Fuente.** Ideam, 2014.

#### 10.2.1.6. Cálculos de consumo

Luego de revisar y analizar la información existente, las condiciones geográficas y técnicas del sitio de ejecución del proyecto se encuentra que existen las condiciones para desarrollar un proyecto con energía solar fotovoltaica, con un consumo estimado de 170 KWh/mes por unidad habitacional.

En la tabla 13, se muestra el cálculo estimado del requerimiento energético para el proyecto:

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO,  
PLANEACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROYECTO  
PILOTO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA EL  
RESGUARDO INDÍGENA POCHARCO, UBICADO EN EL  
MUNICIPIO DE NATAGAIMA - DEPARTAMENTO DEL  
TOLIMA.**



**Tabla 13.** Consumo promedio de una unidad habitacional.

Electrodoméstico	Potencia (W)	Cantidad	Potencia Total en Vatios	Horas Diurnas de Uso	Horas Nocturnas de Uso	Energía Diurna Diario Wh	Energía Nocturna Diario Wh	Total Energía Diaria en Wh	Demanda Máxima (W)
TVLCD 32"	70	1	70	4	3	280	210	490	70
Ventilador	60	2	120	4	8	480	960	1.440	120
Bombillo	50	5	250	0	8	0	2.000	2.000	250
Licuadaora	350	1	350	0,2	0	70	0	70	350
Nevera 100L	80	1	80	8	8	640	640	1.280	80
Equipo de Sonido	50	1	50	4	4	200	200	400	50
<b>TOTAL</b>			<b>920</b>			<b>1.670</b>	<b>4.010</b>	<b>5.680</b>	<b>920</b>
<b>Factor de Seguridad (FS)</b>								20%	
<b>Consumo diario + FS</b>								6816	Wh

**Fuente.** Los autores.

Tomando un consumo mensual calculado en 170 KWh/mes por unidad habitacional y proyectando un factor de crecimiento futuro del 20%, se tendrá un consumo mensual individual de 204 KWh/mes.

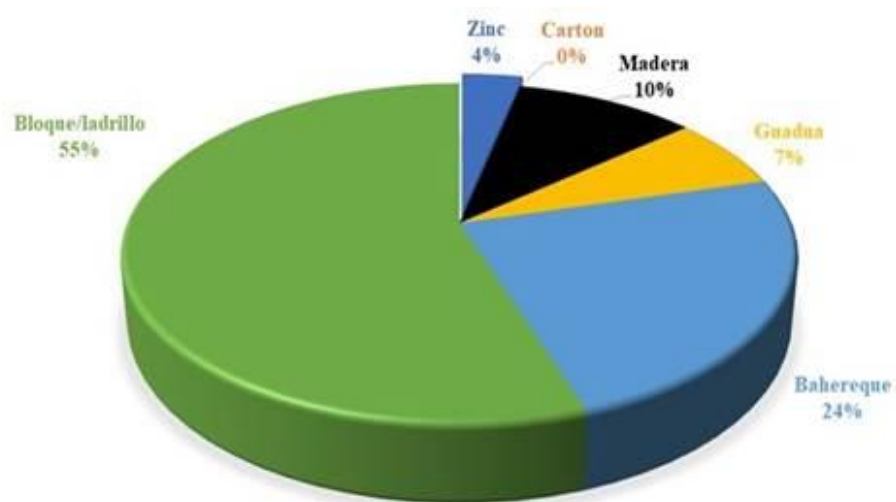
**10.2.1.7. Tipos de vivienda**

**Tabla 14.** Tipo de material de la vivienda

	Variables	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje Válido	Porcentaje Acumulado
<b>Válidos</b>	Zinc	1	4%	4%	4%
	Cartón	0	0%	0%	4%
	Madera	3	10%	10%	14%
	Guadua	2	7%	7%	21%
	Bahareque	7	24%	24%	45%
	Bloque/ladrillo	16	55%	55%	100%
	Total	29	100%	100%	

**Fuente:** Los autores.

**Figura 36.** Distribución de los tipos de vivienda existentes en la comunidad indígena.



**Fuente:** Los autores.

El 54% de los censados tienen su vivienda construida en bloque o ladrillo, el 23 % en bahereque, 13% en madera, 7% en guadua, el 3% en zinc y el 0% en cartón.

**Figura 37.** Vivienda del resguardo.



**Fuente.** Los autores, Tomada el 31 de agosto de 2020.

**Figura 38.** Vivienda del resguardo.



**Fuente.** Los autores, Tomada el 31 de agosto de 2020.

#### **10.2.1.8. Geo-referenciación del resguardo**

Posteriormente, se realizó la georreferenciación del resguardo con un GPS Garmin 60CSX, donde se evidencia la ubicación de este y las 29 viviendas que se encuentran en él, verificando de esta forma la ubicación de los paneles solares y el sistema de distribución de este, para lograr dar energía a la comunidad.

Como resultado se puede observar que la opción solar fotovoltaica suple las necesidades de energía de la comunidad y es factible por su radiación solar que permite que funcione este sistema mediante una instalación individual de los paneles solares fotovoltaicos declarando la zona no interconectada. Además, la instalación en las 29 viviendas se debe realizar con en un poste y no sobre ellas debido al tipo de construcción de estas. En la figura 39 se muestra el modelo por instalar.

**Figura 39.** Modelo de instalación de panel solar elevado en poste metálico.



**Fuente:** Diario del Cesar. (2021). Llevarán energía solar fotovoltaica a doce veredas.  
Recuperado de <https://www.diariodelcesar.com/archivos/91824>

## 10.2.2. Factibilidad Social

### 10.2.2.1. Necesidad de la comunidad

La instalación de las celdas fotovoltaicas en el Resguardo Indígena Pocharco del municipio de Natagaima tiene como fin mejorar la calidad de vida de los habitantes del Resguardo, el 100% de esta población indígena tienen la necesidad de conectarse a una red eléctrica pero debido a sus condiciones geográficas y ubicación, las redes eléctricas publicas existentes se encuentran muy alejadas lo cual hace imposible acceder a este servicio.

#### **10.2.2.2. Identificación de los principales problemas.**

##### **10.2.2.2.1. Causas**

- La gestión de inversión Efectos:
- La posición y ubicación geográfica donde está ubicado el Resguardo dificulta el acceso a servicios públicos indispensables para una buena calidad de vida.

##### **10.2.2.2.2. Efectos**

- No contar con servicio de energía impiden el desarrollo económico necesario para mejorar los índices de pobreza.
- Los ingresos laborales son muy bajos y no tener el servicio de energía ahonda a un más las dificultades para generar ingresos adicionales.
- Las tecnologías de la información son nulas por no tener servicio de energía y son necesarias para el funcionamiento de los diferentes equipos electrónicos.

##### **10.2.2.2.3. Debilidades económicas y sociales existentes de la población.**

- Esta comunidad indígena por su ubicación geográfica, topográfica e hidrológica, se encuentran alejadas del casco urbano y de las ciudades cercanas.
- Tiene un mercado interno limitado mediante truques, con pocas opciones laborales.
- Los indicadores de necesidades básicas insatisfechas son elevados, fundamentalmente por la ausencia de oportunidades educativas, laborales, de acceso a los servicios de salud. Además de esto el difícil acceso, la mano de obra y materiales son más costosos, desmejorando sustancialmente la calidad de vida.

##### **10.2.2.3. Análisis de la factibilidad**

Los impactos sociales son bastante significativos debido a que las comunidades donde se instalarán los paneles solares son lugares muy alejados y de difícil acceso, que no cuentan con el acceso a servicios públicos domiciliarios y mucho menos al servicio de energía eléctrica. Por



este motivo la comunidad se verá beneficiada satisfactoriamente con la implementación del proyecto al tener acceso a este servicio fundamental como lo es el de la energía eléctrica.

De acuerdo con el análisis social la factibilidad se define en términos de los beneficios que trae la implementación del proyecto a la comunidad, mejorando la calidad de vida del Resguardo Indígena, donde no solo se llevarán soluciones a la problemática eléctrica que afronta la comunidad, sino que dinamizará la economía.

### 10.2.3. Factibilidad Económica

Valor de la inversión	\$554.201.571,00
-----------------------	------------------

La evaluación económica permite analizar el mejor resultado para la sociedad a partir de comparar los beneficios logrados y los costos que se generan durante el horizonte del tiempo de ejecución del proyecto. La evaluación se realiza ex ante es decir en el momento de tomar la decisión en cuanto la rentabilidad social que se esperaría de un proyecto financiado con recursos públicos.

Para la realización de la evaluación de proyectos de inversión pública se analiza sobre el concepto de evaluación económica diferente de la evaluación privada o financiera realizada por un privado que busca analizar la rentabilidad de su capital invertido; no obstante, los elementos utilizados para la evaluación financiera sirven de soporte para la evaluación económica del proyecto.

Para la evaluación económica contaremos como valores de entrada los incluidos en la cadena de valor los beneficios directos e indirectos. Para esto a través del análisis del flujo de caja a precios del mercado, la corrección de precios del mercado de los denominados razones precio cuenta RPC y el análisis del flujo económico descontando la tasa social de descuento generando

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO,  
PLANEACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROYECTO  
PILOTO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA EL  
RESGUARDO INDÍGENA POCHARCO, UBICADO EN EL  
MUNICIPIO DE NATAGAIMA - DEPARTAMENTO DEL  
TOLIMA.**

los indicadores de rentabilidad económica del proyecto. A partir de esto podremos analizar la evaluación económica y determinar la factibilidad o no de la alternativa.

### 10.2.3.1. Flujo de caja a precios del mercado según MGA.

El flujo de caja comprende la comparación entre los costos de inversión y los ingresos y beneficios analizados en el horizonte de evaluación, esta se puede observar en la tabla 15.

**Tabla 15.** Flujo de caja del proyecto

P	Beneficios e ingresos (+)	Créditos (+)	Costos de preinversión (-)	Costos de inversión (-)	Costos de operación (-)	Amortización (-)	Intereses de los créditos (-)	Valor de salvamento (+)	Flujo Neto
0	\$ 66.494.667,60	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 438.939.868,10	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	<b>-\$ 372.445.200,50</b>
1	\$ 66.494.667,60	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 66.494.667,60
2	\$ 66.494.667,60	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 66.494.667,60
3	\$ 66.494.667,60	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 66.494.667,60
4	\$ 66.494.667,60	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 66.494.667,60
5	\$ 66.494.667,60	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 66.494.667,60
6	\$ 66.494.667,60	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 66.494.667,60
7	\$ 66.494.667,60	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 66.494.667,60
8	\$ 66.494.667,60	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 66.494.667,60
9	\$ 66.494.667,60	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 66.494.667,60
10	\$ 66.494.667,60	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 66.494.667,60

**Fuente:** Los autores.

El flujo de caja nos permite revisar los valores positivos o negativos establecidos en la columna flujo neto para cada uno de los periodos de horizonte de evaluación, en este caso son diez (periodos = años) los cuales se calculan de la vida útil mínima de los paneles. Teniendo en cuenta que la evaluación económica realizada debe considerar el carácter social del proyecto de inversión se debe analizar el flujo de caja con la tasa de descuento social y las razones precio cuenta. De esta forma se obtiene el flujo neto teniendo en cuenta estas afectaciones.

### **10.2.3.2. Corrección de precios del mercado de los denominados razones precio cuenta (RPC)**

En la mayoría de los mercados se presentan fallas porque los niveles de competencia son bajos o los mercados son incompletos en el desconocimiento de los agentes que participan en el. Este tipo de elementos provocan que los precios del mercado tengan distorsiones en los insumos como en los productos a entregar.

Teniendo en cuenta lo anterior en la evaluación económica no se utiliza los precios del mercado para calcular el flujo neto se usa los denominados razones precio cuenta quienes corrigen las distorsiones ya mencionadas. Para esto se aplica la corrección de RAZONES PRECIO CUENTA o RPC, es decir los precios del mercado se convierten a precios económicos, esos RPC fueron establecidos entre el DNP (Departamento Nacional de Planeación) y el BID (Banco interamericano de Desarrollo). La MGA incluye las razones precio cuenta para corregir las variaciones del mercado, en términos promedio representa un 60% del precio que el mercado ofrece.

Para lo anterior se hace el análisis y se asume el valor promedio de los RPC para cada actividad incluida en la cadena de valor. En la tabla 16 se muestran los valores RPC.

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO,  
PLANEACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROYECTO  
PILOTO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA EL  
RESGUARDO INDÍGENA POCHARCO, UBICADO EN EL  
MUNICIPIO DE NATAGAIMA - DEPARTAMENTO DEL  
TOLIMA.**

**Tabla 16.** Valores Razones Precio Cuenta (RPC)

Insumo	RPC
Mano de obra calificada	1.00
Mano de obra no calificada	0.60
Materiales	0.79
Servicios domiciliarios	1.47
Terrenos	1.00
Edificios	0.80
Maquinaria y Equipo	0.77
Mantenimiento maquinaria y equipo	0.71
Transporte	0.80
Servicios de venta y de distribución	0.80
Servicios de alojamiento comidas y bebidas	0.80
Servicios financieros y conexos	0.80
Servicios de leasing	0.80
Servicios inmobiliarios	0.80
Servicios prestados a las empresas y servicios de producción	0.80
Servicios para la comunidad, sociales y personales	0.80
Gastos imprevistos	1
Adquisición de activos financieros	1
Disminución de pasivos	1
Impuestos, pagos de derechos, contribuciones, multas y sanciones	1
Transferencias corrientes y de capital	1

**Fuente:** Los autores.

### 10.2.3.3. Flujo económico descontando la tasa social de descuento

En una inversión privada se tiene un costo de oportunidad al utilizar capital para la financiación de un proyecto esta relación se evalúa a través de la tasa de interés, en los proyectos de inversión social también hay un costo de oportunidad en la utilización de recursos públicos para la financiación de los proyectos; esta tasa se conoce como la tasa social de descuento. La rentabilidad mínima esperada en la TSD (tasa social de descuento) es del 12% esto significa que en los proyectos de inversión públicos no se pueden contar con tasas inferiores a esta una vez realizada la evaluación económica.

### 10.2.3.4. Indicadores de rentabilidad económica del proyecto

Para la evaluación económica se parte del análisis costo beneficio y costo eficiencia cuya utilización se hace cuando los beneficios no se pueden convertir en dinero, pero se concluye que benefician a la sociedad.

**Tabla 17.** Indicadores de Rentabilidad

Indicadores de rentabilidad		
Valor Presente Neto (VPN)	Tasa Interna de Retorno (TIR)	Relación Costo Beneficio (RCB)
\$ 257.346.046,03	12,21%	\$ 1,59

**Fuente:** Los autores.

#### 10.2.3.4.1. Indicadores de análisis costo beneficio.

Los indicadores más utilizados para evaluar esta relación son el valor presente neto y la tasa interna de retorno económico.

### **Valor presente neto**

Si al calcular el valor presente neto su es mayor a cero podemos indicar que generara beneficios, si el valor presente es cero el proyecto no genera ni beneficios ni perdida, si es menor que cero el proyecto de inversión genera pérdidas. El proyecto de inversión para nuestro análisis indica un valor presente mayor a cero por lo cual determinamos que el proyecto es factible en este indicador.

### **Tasa interna de retorno**

Este indicador mide la retribución que se alcanzaría en el evento en el que se reinvirtieran los fondos en la misma alternativa. Cuando el resultado analizado en el indicador es menor a la tasa social del descuento establecida (12%) no es conveniente. Cuando el resultado del indicador es igual a la TSE establecida se determinaría que la alternativa es indiferente. Si el indicador es mayor a la tasa establecida es conveniente la alternativa.

Para nuestro caso el resultado es 12,21% lo cual indica una factibilidad del proyecto en relación a la tasa social de descuento.

### **Relación Costo beneficio (RCB)**

La relación beneficio-costo-económica compara los costos del proyecto traídos a valor presente teniendo en cuenta los efectos positivos. Los costos incluyen la totalidad de los costos directos e indirectos asociados en la realización del proyecto; los beneficios incluyen los ingresos directos e indirectos y beneficios tangibles que si la relación beneficio/costo es  $> 1$  se analiza que los beneficios superan los costos en consecuencia el proyecto es factible ya que arrojó un resultado de 1,59.

A partir del análisis realizado y detallado en el anexo de la MGA se determinó que el proyecto de inversión para el resguardo indígena Pocharco es factible económicamente y se detalla con los siguientes resultados.

**Tabla 18.** Relación Costo Beneficio.

Indicadores de rentabilidad			Indicadores de costo eficiencia	Indicadores de costo mínimo	
Valor Presente Neto (VPN)	Tasa Interna de Retorno (TIR)	Relación Costo Beneficio (RCB)	Costo por beneficiario	Valor presente de los costos	Costo Anual Equivalente (CAE)
<b>Alternativa:</b> Construcción de Sistemas de Energía Solar Fotovoltaica en el Resguardo indígena Pocharco					
\$ 257.346.046,03	12,21%	\$ 1,59	\$ 2.090.189,85	\$ 438.939.868,08	\$ 24.822.075,01

**Fuente:** Los autores.

#### 10.2.4. Factibilidad legal

El Sector Eléctrico Colombiano, cuenta actualmente con toda clase de oportunidades e incentivos tributarios para la implementación de energía solar. Con el fin de promover de forma efectiva la inversión de estas fuentes de generación renovables, el gobierno nacional contemplo una serie de incentivos fiscales que permitan avanzar en el camino de la integración de las FNCE (Fuentes No Convencionales de Energía) al Sistema Energético Nacional.

De esta manera, nace la **Ley 1715 del 2014** “Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional”. Dentro de los incentivos que establece esta ley, se encuentra una reducción del impuesto de renta por hasta el 50% de la inversión, que puede ser aplicada de manera distribuida en el transcurso de los 5 años siguientes a su realización del proyecto. Adicionalmente se exime del pago de IVA a todos los equipos y servicios, definidos por la Unidad de Planeación Minero Energético (UPME). Así mismo, determina que todos aquellos equipos, maquinaria, materiales e insumos que sean importados para los proyectos de FNCE, y no sean producidos por la industria nacional, estarán exentos del pago de aranceles. Finalmente, se estipula la posibilidad de depreciar aceleradamente los activos del proyecto, con una tasa anual de depreciación máxima del 20%.” (UPME, 2015).

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO,  
PLANEACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROYECTO  
PILOTO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA EL  
RESGUARDO INDÍGENA POCHARCO, UBICADO EN EL  
MUNICIPIO DE NATAGAIMA - DEPARTAMENTO DEL  
TOLIMA.**

Otra normativa generada, es el **Decreto 1543 del 16 de Septiembre de 2017**, por medio del cual se reglamenta el Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía (FENOGE), para financiar y proyectos dirigidos al sector residencial de estratos 1, 2 y 3, tanto para la implementación de soluciones de autogeneración a pequeña escala, como para la mejora de eficiencia energética mediante la promoción de buenas prácticas, equipos de uso final de energía, adecuación de instalaciones internas y remo delaciones arquitectónicas.

También encontramos el **Decreto 570 del 23 de marzo de 2018**, Por medio del cual se plantea un mecanismo de mercado para promover proyectos de generación que aporten a la matriz energética: objetivos de diversificación, complementariedad, reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, aprovechamiento de las fuentes no convencionales de energía renovable, seguridad energética regional y desarrollo sostenible. Es decir, energías como la solar y la eólica pueden ser fuentes complementarias que aporten al sistema cuando las tradicionales (agua, gas, carbón, petróleo) acusen un desgaste. Esta diversificación contribuye a que el país sea más fuerte para enfrentar fenómenos como el niño.

Y por último se encuentra la **Resolución 1283 del 3 de Agosto de 2016** del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Social, “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, 14 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”.

Todas estas leyes y políticas energéticas mejoran las condiciones de abastecimiento y disponibilidad de la energía eléctrica de carácter renovable. Con respecto a la Ley 1715 del 2014 Art 11, 12, 13 y 14 que ofrece una reducción en impuestos la cual favorece es al municipio que es la entidad por medio la cual se presenta el proyecto en mención más no a los habitantes del



Resguardo. En conclusión, la normatividad del país hace que sea factible legalmente ya que las energías renovables están permitidas en nuestro país.

### **10.3. Factibilidad del proyecto**

Luego de realizar las factibilidad técnica, económica, social y legal empleando la MGA, se concluye que el proyecto es factible.

### **10.4. Alternativas de solución**

Para el desarrollo de la solución relacionada con el suministro de energía eléctrica, se proponen dos alternativas, las cuales se evaluarán con el fin de seleccionar la más adecuada de acuerdo con las características de lugar de ejecución del proyecto.

Estas alternativas son:

Alternativa 1: Suministro de electricidad por generación solar fotovoltaica por unidad habitacional.

Alternativa 2: Suministro de electricidad por líneas eléctricas del operador de red.

#### **10.4.1. Evaluación de alternativas**

Para determinar el peso asignado a cada criterio definido, se aplicó la herramienta Proceso Analítico Jerárquico (AHP), la cual permite medir criterios cualitativos y cuantitativos mediante una escala común. Esta herramienta permite la participación de expertos.

A través de sesiones con dos (2) expertos, se calificaron los criterios definidos por la importancia que tenía cada uno con respecto a los otros. Para ello se utilizó la matriz de selección de multi atributo.

Los expertos que ayudaron a realizar la definición de los criterios fueron los ingenieros:

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO,  
PLANEACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROYECTO  
PILOTO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA EL  
RESGUARDO INDÍGENA POCHARCO, UBICADO EN EL  
MUNICIPIO DE NATAGAIMA - DEPARTAMENTO DEL  
TOLIMA.**

- Wilmer Vanegas Iglesias, Líder de la disciplina eléctrica de la Gerencia de Ingeniería (GIG) de la Vicepresidencia de Proyectos y Perforación (EPP) de Ecopetrol S.A.
- Carlos Suárez Roldán, Líder de la Ingeniería del Hub Central de la Gerencia de Ingeniería (GIG) de la Vicepresidencia de Proyectos y Perforación (EPP) de Ecopetrol S.A.

Los criterios de evaluación seleccionados para cada alternativa junto con los pesos asignados se presentan en la tabla 19.

**Tabla 19.** Criterios de evaluación.

<b>Criterio</b>	<b>Descripción</b>	<b>Peso (%)</b>
Económicos	Bajo costos de instalación	40
ODS ONU	Alineación con los ODS	20
Precio \$KWh	Menor costo \$KWh	30
Confiabilidad del Sistema	Nº de fallas al año	10

**Fuente.** Los autores.

A través de sesiones con expertos, se calificó los criterios definidos por la importancia que tenía cada uno con respecto a los otros. Para ello se utilizó la matriz de selección de multi atributo.

A continuación, en la tabla N° 20, se condensa el proceso llevado a cabo para la evaluación, en el cual se utiliza una escala entre 1 y 5, donde 1 corresponde a la peor condición y 5 a la mejor condición o más adecuada para este proyecto.

**Tabla 20.** Escala de Calificación.

Escala Númerica	Escala Verbal
1	Peor condición
2	Baja condición
3	Regular condición
4	Aceptable condición
5	Mejor condición

**Fuente.** Los autores.

**Tabla 21.** Matriz de evaluación multicriterio.

Requerimientos y/o rendimientos y/o otros criterios	Ponderación	Alternativa 1		Alternativa 2	
		Puntaje	Puntaje Ponderado	Puntaje	Puntaje Ponderado
Económicos	40%	4	1,6	3	1,2
ODS ONU	20%	5	1	3	0,6
Precio \$ kWh	30%	5	1,5	3	0,9
Confiabilidad del Sistema	10%	3	0,3	4	0,4
<b>Total</b>	<b>100%</b>		<b>4,4</b>		<b>3,1</b>

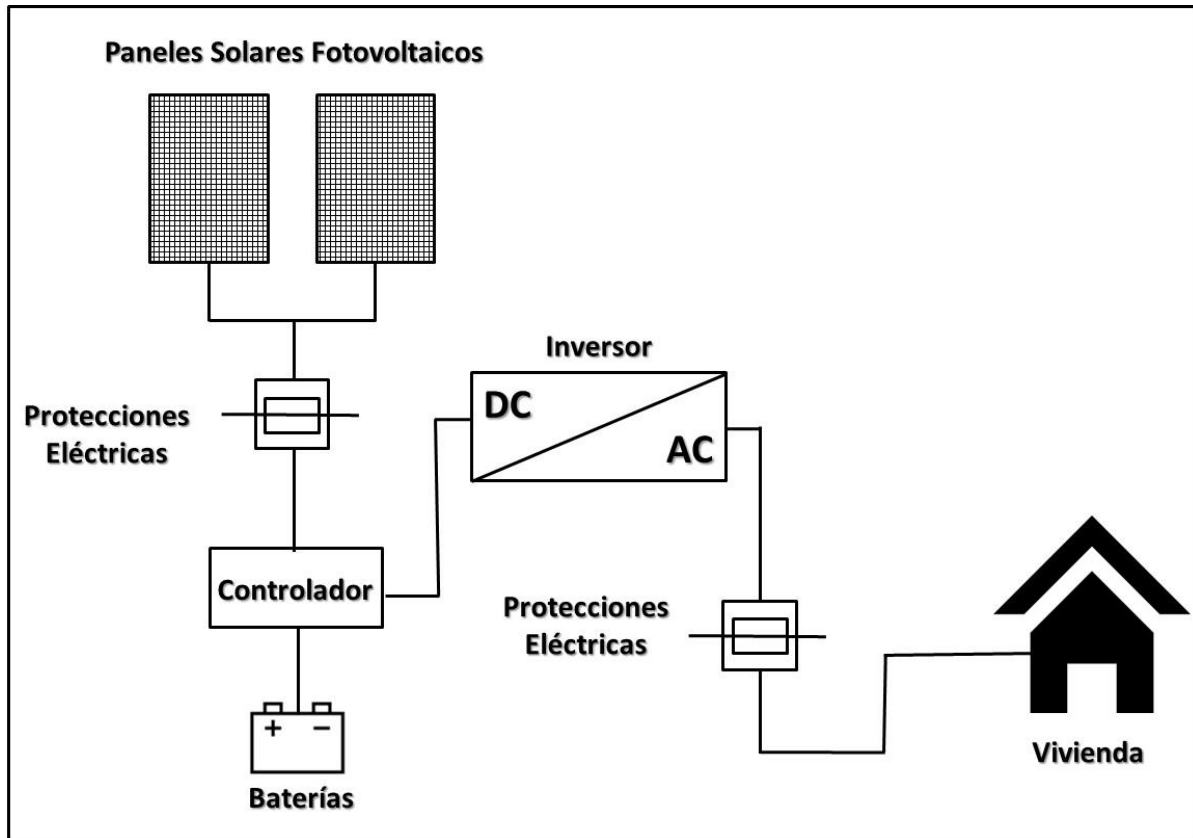
**Fuente.** Los autores.

Como resultado de la evaluación, la calificación más alta la obtuvo la alternativa 1: Suministro de electricidad por generación solar fotovoltaica por unidad habitacional, siendo esta la alternativa que se va a desarrollar.

#### 10.4.2. Diseño y especificaciones del sistema.

El esquema básico seleccionado para la instalación solar fotovoltaica se muestra en la figura 40:

**Figura 40.** Esquema Instalación Solar Fotovoltaica Aislada.



**Fuente.** Los autores.

#### 10.4.2.1. Especificaciones técnicas.

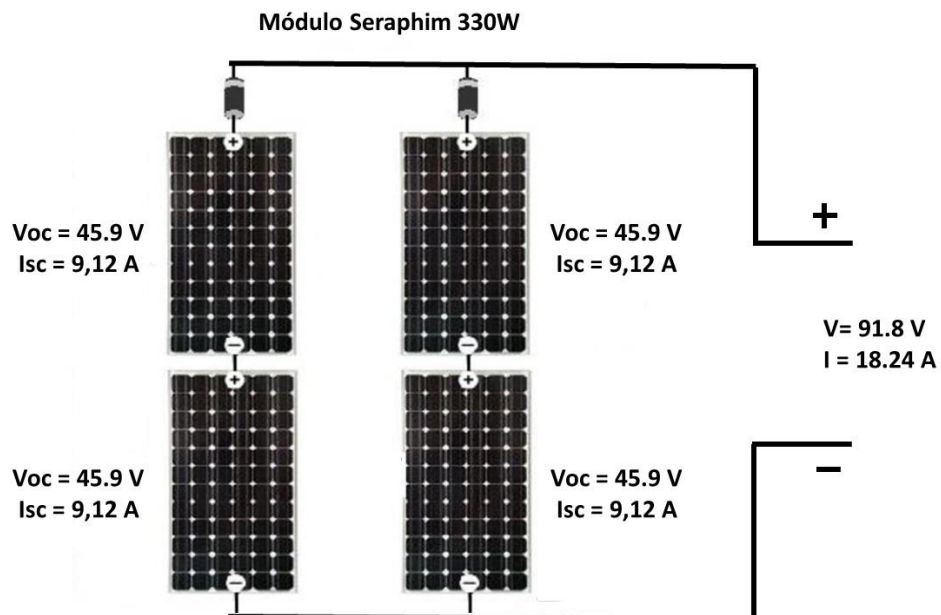
Como solución para cada vivienda unifamiliar, el sistema fotovoltaico, quedara dimensionado de la siguiente manera:

**Tabla 22.** Especificaciones técnicas del sistema solar fotovoltaico.

Descripción	Característica	Cantidad
Potencia del Sistema (W)	1.136,0	NA
Panel (W)	330	4
Configuración Paneles	2 series de 2 paneles	
Inversor	3000 W/ 48Vdc / 120 VAC	1
Controlador (A-V)	60A - 150V	1
Batería (Ah - V)	200 Ah - 12 VDC	4
Banco de Baterías	Configuración: 1 arreglo de 4 baterías en serie	
Protección Eléctrica	20A	1

**Fuente.** Los autores.

**Figura 41.** Configuración de paneles: 2 líneas, cada una con 2 paneles en serie.



**Fuente.** Los autores.

#### **10.4.2.2. Análisis técnico de la alternativa**

La alternativa consiste en la instalación de 29 soluciones de energía solar fotovoltaica autónomas en el Resguardo Indígena Pocharco. Estas soluciones estarán conformadas por 4 módulos solares de 330 W (Vatios). Los módulos fotovoltaicos estarán soportados en una estructura metálica, estarán elevadas 2,5 metros del suelo por un poste metálico de 4" sobre una base en concreto de 3000 PSI. Esta estructura estará a una distancia de aproximadamente 2 metros de la vivienda.

El sistema también cuenta con un controlador MMPT de 60A (Amperios), haciéndolos trabajar siempre en el punto de máxima potencia; este se encargará de regular la energía que los paneles solares envían al banco de baterías y que controla la carga y la descarga de forma eficiente. Se utilizarán cuatro baterías gel de ciclo profundo con capacidad de 200 Ah - 12 VDC. La corriente que sale del banco de baterías pasa por el inversor de 3000W (Vatios) de onda completa sinusoidal, el cual transforma la corriente continua que le llega del banco de baterías a 12V en corriente alterna a 120V con el fin de alimentar los electrodomésticos y luminarias de la unidad habitacional. Cada instalación lleva instalada un sistema de puesta a tierra (SPT), el cual consta de una varilla de cobre desnuda de mínimo 2,4 m de longitud. Todos los equipos electrónicos y acumuladores estarán protegidos dentro de un gabinete metálico diseñado para intemperie. La acometida interna de las viviendas constará de una caja eléctrica o tablero de circuitos, donde se ubicarán las protecciones; la cantidad de salidas eléctricas de la vivienda serán: 4 tomacorrientes, 4 porta bombillos con su respectivo interruptor, conectados por cableado de calibre AWG 12 dentro de tubería EMT.

Se realizarán talleres de sensibilización en las viviendas en los horarios concertados, en el buen uso y cuidado de los dispositivos fotovoltaicos y el buen uso del recurso energético.

## 11. Plan de intervención

Consciente de la importancia que representa la correcta formulación de los proyectos de Inversión Pública para asignar los recursos de los diferentes presupuestos públicos en esta materia, la Dirección de Inversiones y Finanzas Publicas del Departamento Nacional de Planeación, ha desarrollado la aplicación informática denominada Metodología General Ajustada (DNP, 2013).

La MGA está compuesta por módulos y capítulos que están organizados de manera secuencial para registrar progresivamente la información del proyecto iniciando con el proceso de formulación donde se identifica el problema y se define una o más alternativas de solución para transformarla positivamente a través de dicha intervención, hasta evaluar la viabilidad técnica, social, ambiental y económica para finalmente elegir la alternativa más conveniente y programar el cumplimiento del objetivo general propuesto en términos de indicadores y metas.

“Todo proyecto de inversión pública debe ser formulado de conformidad con las metodologías y lineamientos que defina el Departamento Nacional de Planeación”, Según el Resolución 4788 de 2016. Conceptualmente la metodología mantiene su sustento en Marco Lógico, Cadena de Valor, Planes de Desarrollo (Ley 1753 de 2015) y en los principios de preparación y evaluación económica de proyectos, para el caso de este propósito a desarrollar en el municipio de Natagaima, aplica la obligatoriedad de diligenciar la MGA debido a que es un requisito de primer orden en la presentación de proyectos para cualquier entidad en la consecución de recursos; de acuerdo con la alternativa seleccionada en la MGA, esta se resume tres aspectos:

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO,  
PLANEACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROYECTO  
PILOTO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA EL  
RESGUARDO INDÍGENA POCHARCO, UBICADO EN EL  
MUNICIPIO DE NATAGAIMA - DEPARTAMENTO DEL  
TOLIMA.**



**11.1. Resumen fuentes de financiación**

**Tabla 23.** Fuentes de financiación.

Etapa	Entidad	Tipo de entidad	Tipo de recurso	Periodo	Valor
Inversión	Natagaima	Municipios	Fondo de compensación regional	0	\$ 554.201.571
				1	\$ 0
<b>Total</b>					\$ 554.201.571
<b>Total inversión</b>					\$ 554.201.571
<b>Total</b>					\$ 554.201.571

**Fuente.** Los autores

**11.2. Resumen del proyecto**

**Tabla 24.** Resumen del proyecto.

Resumen narrativo	Descripción	Indicadores	Fuente	Supuestos
<b>Objetivo General</b>	Efectuar el estudio de factibilidad para el desarrollo de un proyecto piloto de energía solar fotovoltaica con cobertura de energía eléctrica al total de la población de resguardo indígena Pocharco del municipio de Natagaima-Tolima.	Prototipo de energía fotovoltaica implementado	Tipo de fuente: Informe  Fuente: Secretaría de Planeación Municipal  Interventoría	Se da un adecuado uso de los sistemas solares fotovoltaicos por parte de los usuarios.



<p><b>Componentes (Productos)</b></p>	<p>1.1 Unidades de generación fotovoltaica de energía eléctrica instaladas</p>	<p>Unidades de generación fotovoltaica de energía eléctrica instaladas</p>	<p>Tipo de fuente: Informe  Fuente: Informes de Interventoría</p>	<p>Los sistemas solares fotovoltaicos instalados no son destruidos por ráfagas de viento, tormentas, caída de árboles o deslizamientos, Se cuenta con suficiente disponibilidad de inventarios de los materiales y equipos en el mercado local.</p>
	<p>1.1.1 - Realizar el replanteo de obra (*)  1.1.2 - Realizar la implementación y</p>	<p>Nombre: Informes De Interventoría Realizados</p>		<p>Se cuenta con</p>

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO,  
PLANEACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROYECTO  
PILOTO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA EL  
RESGUARDO INDÍGENA POCHARCO, UBICADO EN EL  
MUNICIPIO DE NATAGAIMA - DEPARTAMENTO DEL  
TOLIMA.**



<b>Actividades</b>	puesta en funcionamiento de equipos para la operación fotovoltaica. (*)  1.1.3 - Instalar el sistema de medición y gestión de energía. (*)  1.1.4 - Construir las instalaciones internas. (*)  1.1.5 - Realizar la interventoría. (*)  1.1.6 - Realizar capacitaciones. (*)	Unidad de Medida: Número   Meta: 3		pólizas de cumplimiento.
--------------------	---	--	--	--------------------------

(\*) Actividades con ruta crítica

**Fuente.** Los autores

### 11.3. Toma de decisión y programación del proyecto

**Tabla 25.** Toma de decisión.

Indicadores de rentabilidad			Indicadores de costo eficiencia	Indicadores de costo mínimo	
Valor Presente Neto (VPN)	Tasa Interna de Retorno (TIR)	Relación Costo Beneficio (RCB)	Costo por beneficiario	Valor presente de los costos	Costo Anual Equivalente (CAE)
<b>Alternativa:</b> Construcción de Sistemas de Energía Solar Fotovoltaica en el Resguardo indígena Pocharco					
\$ 257.346.046,03	12,21%	\$ 1,59	\$ 2.090.189,85	\$ 438.939.868,08	\$ 24.822.075,01

**Fuente.** Los autores

De acuerdo con el resultado arrojado en la evaluación económica, da como viable el proyecto de acuerdo con los siguientes aspectos:

1. Los beneficios son mayores a los costos, por tanto, es viable.
2. En la MGA la recomendación es que la TIR debe ser mayor de 12% y da 12,21%

### 12. Cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible u Objetivos Mundiales de la ONU.

Luego de realizar una evaluación de los objetivos de desarrollo sostenible, se concluye lo siguiente:

**I. Objetivo Número 7: Energía Asequible y No Contaminante.**



**Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna**

**Meta:** Garantizar el acceso universal a servicios energéticos asequibles, fiables y modernos.

**Cumplimiento:** Con la implementación del proyecto se garantizará el acceso al servicio de energía eléctrica a 210 personas pertenecientes a la comunidad, de forma segura, confiable, asequible y limpia. La comunidad indígena no podido acceder a los beneficios que trae consigo el servicio de energía eléctrica.

**II. Objetivo Número 11: Ciudades y Comunidades Sostenibles.**



**Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles**

**Meta:** Asegurar el acceso de todas las personas a viviendas y servicios básicos adecuados, seguros y asequibles.

**Cumplimiento:** Con la implementación del proyecto se garantizará el acceso al servicio de energía eléctrica a 210 personas pertenecientes a la comunidad, de forma segura, confiable, asequible y limpia. Este proyecto favorece la integración de la comunidad a mejores condiciones de calidad de vida, el acceso a la información, a recursos básicos que viabilizan la existencia de la comunidad indígena. Así mismo se rompe una barrera de discriminación colonial al facilitarle acceso a un recurso primordial como lo es el de la energía eléctrica.

### III. Objetivo Número 13: Acción por el Clima.



**Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.**

**Meta:** Incorporar medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales.

**Cumplimiento:** El proyecto de energía solar fotovoltaica ayudara a reducir la emisión de gases con efecto invernadero. El país tiene el compromiso de reducir en un 20% la emisión de carbono para el año 2030, según el pacto de compromiso en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio climático.

### 13. Conclusiones y recomendaciones

A continuación, se presentan las recomendaciones para la implementación del plan de intervención propuesto y las conclusiones de cierre del trabajo.

#### 13.1. Conclusiones

- En este proyecto se efectuó un estudio de factibilidad para el diseño, planeación y construcción de un proyecto piloto de energía solar fotovoltaica para la Comunidad Indígena Pocharco del municipio de Natagaima en el departamento del Tolima.
- La alternativa seleccionada esta soportada en la MGA, donde se describe los componentes y actividades necesarias para la implementación del proyecto.

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO,  
PLANEACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROYECTO  
PILOTO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA EL  
RESGUARDO INDÍGENA POCHARCO, UBICADO EN EL  
MUNICIPIO DE NATAGAIMA - DEPARTAMENTO DEL  
TOLIMA.**

- El proyecto se desarrolló siguiendo las metodologías MGA y GPM, obteniendo una propuesta factible en términos técnicos, sociales, económicos y legales, que cumple con los estándares de proyectos de inversión del gobierno colombiano para una posterior implementación por los entes territoriales respectivos.
- En el diseño fueron aplicados criterios y requisitos para el cumplimiento de la normatividad y reglamentación eléctrica, civil y ambiental del país, como, los son el RETIE, NTC 2050, NSR 2010 y el Acuerdo 322 de 2008. Además, se tuvieron en cuenta los incentivos económicos que existen en el país y que estimulan su implementación; como la ley 1715 de 2014 que apoya la importación de componentes tecnológicos para ser usados en sistema fotovoltaicos, con la disminución de impuestos y aranceles.
- Este proyecto permitirá a la alcaldía del municipio de Natagaima, utilizarlo como modelo a implementar en los diversos resguardos indígenas existentes en el municipio que carecen del servicio de energía eléctrica.
- El diseño elaborado en el dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico es específico para la totalidad de la cantidad de energía que demandara cada una de las viviendas de la comunidad indígena.

### **13.2. Recomendaciones**

- En el desarrollo del proyecto se identificaron riesgos que se presentarían al ser ejecutado entre ellos la temporada de lluvias y nubosidad, problemas de orden público e inexistencia de profesionales requeridos en la zona los cuales fueron

categorizados definiendo la probabilidad e impacto donde se asignó la estrategia de respuesta y el plan de contingencia en caso de materializarse.

- En Colombia y especialmente en las zonas rurales se debe de incentivar la implementación de energía solar, ya que la normatividad vigente estimula esta y otras fuentes de tecnología limpia, la cual conlleva a mejorar la calidad de vida de las comunidades sin acceso al servicio de energía eléctrica. Así mismo ayuda en la conservación del ambiente y a la reducción de la contaminación por la emisión de gases efecto invernadero (GEI) con relación a la energía convencional.
- Hacer un buen uso de los equipos que forman parte del sistema fotovoltaico, ya que estos presentan un enfoque ambiental y social con criterios flexibles de colaboración y sensibilidad con el ambiente.
- Capacitar la comunidad en el buen uso, manejo y mantenimiento del sistema solar a implementar.
- Una vez el proyecto sea implementado, se debe seguir de manera rigurosa las recomendaciones entregadas por parte de los fabricantes en relación con los mantenimientos que se le debe realizar a los equipos.
- Establecer un plan de manejo ambiental con la disposición final de los equipos y elementos fotovoltaicos en la medida que vayan cumpliendo su vida útil.

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO,  
PLANEACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROYECTO  
PILOTO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA EL  
RESGUARDO INDÍGENA POCHARCO, UBICADO EN EL  
MUNICIPIO DE NATAGAIMA - DEPARTAMENTO DEL  
TOLIMA.**

#### **14. Referencias Bibliográficas**

Alcaldía de Natagaima Tolima. (2020). Recuperado de <http://www.natagaima-tolima.gov.co/tema/alcaldia>

Asociación de Autoridades Tradicionales del Consejo Regional Indígena del Tolima - CRIT. (2018). Recuperado de <https://crit.com.co/resguardos-indigenas/>.

Asociación Colombiana de Generadores de Energía Eléctrica - ACOLGEN (2020). Capacidad instalada en Colombia. Recuperado de <https://www.acolgen.org.co/>

Barberá, S. (2018). Introducción a la energía fotovoltaica. Recuperado de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70271/fichero/02+INTRODUCCI%C3%93N+A+LA+ENERG%C3%8DA+FOTOVOLTAICA%252FIntroducci%C3%B3n+a+la+Energ%C3%ADa+Fotovoltaica.pdf>

Comisión de regulación de energía y gas. (2019). Informe de gestión 2019. Recuperado de <https://www.upme.gov.co>

Congreso de Colombia (13 de mayo de 2014). Regulación de la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional. [Ley 1715 del 13 de Mayo de 2014]. Recuperado de [https://www.upme.gov.co/Normatividad/Nacional/2014/LEY\\_1715\\_2014.pdf](https://www.upme.gov.co/Normatividad/Nacional/2014/LEY_1715_2014.pdf)

Departamento nacional de planeación - DNP (2010). Dirección de Desarrollo Territorial Sostenible Subdirección de Ordenamiento y Desarrollo Territorial. Recuperado de



<https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/MGA/Tutoriales%20de%20funcionamiento/Manual%20conceptual.pdf>

Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas - IPSE. (23 de marzo de 2020), Recuperado de <http://www.ipse.gov.co/ipse/quienes-somos>.

Ministerio del interior (2013). Plan de salvaguarda del pueblo Pijao. Documento validado Resguardo Indígena Pocharco, municipio de Natagaima. Recuperado de [https://www.minterior.gov.co/sites/default/files/upload/115\\_resguardo\\_pocharco\\_natagaima.pdf](https://www.minterior.gov.co/sites/default/files/upload/115_resguardo_pocharco_natagaima.pdf).

Organización de las Naciones Unidas (1987). Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. Informe titulado Nuestro futuro común o Informe Brundtland (20 de marzo de 1987). Recuperado de [http://www.ecominga.uqam.ca/PDF/BIBLIOGRAPHIE/GUIDE\\_LECTURE\\_1/CMMAD-Informe-Comision-Brundtland-sobre-Medio-Ambiente-Desarrollo.pdf](http://www.ecominga.uqam.ca/PDF/BIBLIOGRAPHIE/GUIDE_LECTURE_1/CMMAD-Informe-Comision-Brundtland-sobre-Medio-Ambiente-Desarrollo.pdf)

Organización de las Naciones Unidas (2015). Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Recuperado de <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>

Plan de Energización Rural Sostenible del Tolima. (2015). Recuperado 23 de marzo de 2020, de Plan de Energización Rural Sostenible del Tolima. Website: <http://perstolima.ut.edu.co/index.php/2015-06-10-01-04-27/sistema-agroenergetico>.

Planeación Departamental. (2016). Plan de desarrollo departamento del Tolima 2016 – 2019 “Soluciones que transforman”. Gobernación del Tolima.

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO,  
PLANEACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROYECTO  
PILOTO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA EL  
RESGUARDO INDÍGENA POCHARCO, UBICADO EN EL  
MUNICIPIO DE NATAGAIMA - DEPARTAMENTO DEL  
TOLIMA.**



Presidencia de la Republica (16 de Septiembre de 2017). Reglamentación del fondo de energías no convencional es y gestión eficiente de la energía (FENOGE). [Decreto 1543 del 16 de Septiembre de 2017]. Recuperado de <https://dapre.presidencia.gov.co/normativa/normativa/DECRETO%201543%20DEL%2016%20DE%20SEPTIEMBRE%20DE%202017.pdf>

Presidencia de la Republica (23 de Marzo de 2018). Adición de secreto único reglamentario del sector administrativo del minas y energía 1073 de 2015, relacionado con los lineamientos de política pública para la contratación a largo plazo de proyectos de generación de energía eléctrica y se dictan otras disposiciones. [Decreto 570 del 23 de Marzo de 2018]. Recuperado de <http://es.presidencia.gov.co/normativa/normativa/DECRETO%20570%20DEL%2023%20DE%20MARZO%20DE%202018.pdf>

Romero, J. (2015). Análisis del funcionamiento de paneles fotovoltaicos y su utilización en las regiones de la costa y sierra del Ecuador. Caso de estudio: Biblioteca Pompeu Fabra de Mataró (Tesis de maestría). Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/26396/memoria.pdf?sequence=1>

## 15. Anexos

**Anexo 1.** Acta de inicio de la investigación

**Anexo 2.** Modelo de la Encuesta

**Anexo 3.** Desarrollo MGA proyecto piloto de energía solar fotovoltaica para el resguardo indígena Pocharco, ubicado en el municipio de Natagaima - Departamento del Tolima.