

FACTORES CLAVES A CONSIDERAR AL EVALUAR EL CAMBIO DEL MODELO DE  
ENERGIZACIÓN PARA COMUNIDADES DEL DEPARTAMENTO DE LA GUAJIRA



Factores claves a considerar al evaluar el cambio del modelo de energización tradicional por  
modelos agrupados para comunidades de zonas no interconectadas del departamento de La  
Guajira

Anibal García Clavijo

Ángel Fabian García Duarte

German Andrés Gutierrez Patiño

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Virtual

Programa Especialización en Gerencia de Proyectos

Agosto de 2024

FACTORES CLAVES A CONSIDERAR AL EVALUAR EL CAMBIO DEL MODELO DE  
ENERGIZACIÓN PARA COMUNIDADES DEL DEPARTAMENTO DE LA GUAJIRA

Factores claves a considerar al evaluar el cambio del modelo de energización tradicional por  
modelos agrupados para comunidades de zonas no interconectadas del departamento de La  
Guajira

Anibal García Clavijo

Ángel Fabian García Duarte

German Andrés Gutierrez Patiño

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Especialista en Gerencia de  
Proyectos

Asesor

Henry Alberto Rodríguez Guzmán

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Virtual

Programa Especialización en Gerencia de Proyectos

## Contenido

Lista de tablas.....	6
Lista de Figuras.....	7
Resumen.....	8
<b>Abstract</b> .....	9
Introducción .....	11
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
1.1 Descripción del problema.....	14
1.2 La pregunta de investigación.....	15
1.3 Los objetivos de investigación .....	15
1.3.1 Objetivo general .....	15
1.3.2 Objetivos específicos .....	15
1.4 Justificación de la investigación.....	15
2 MARCO DE REFERENCIA.....	16
2.1 Marco de Antecedentes .....	17
2.1.1 Casos de éxito tecnológicos .....	17
2.1.2 Sistemas con generación agrupadas convencionales .....	17
2.1.3 Sistemas con generación distribuida y control de frecuencia .....	19
2.1.4 Mesh-Grids.....	21
2.2 Marco Teórico .....	24
2.2.1 Potencial eólico y solar en Colombia.....	24
2.2.2 Topologías para microrredes .....	26
2.3 Marco Normativo .....	28
3 METODOLOGÍA.....	30

3.1	Diseño metodológico.....	30
3.2	Enfoque de la Investigación y Alcance de la investigación .....	31
3.2.1	Identificación de Factores Clave:.....	31
3.2.1	Descripción de las Ventajas del Modelo Agrupado:.....	32
3.2.2	Propuestas de Recomendaciones Prácticas:.....	32
3.3	Población y muestra .....	32
4	FACTORES CLAVES DEL MODELO DE ENERGIZACIÓN .....	32
4.1	Energización por método tradicional .....	33
4.2	Energización mediante soluciones agrupadas. ....	34
4.3	Identificación de aspectos técnicos .....	36
4.3.1	Gestión de la Energía y Control Inteligente.....	37
4.3.2	Almacenamiento de Energía .....	37
4.3.3	Optimización de la Generación.....	38
4.3.4	Interconexión y Operación en Modo Isla.....	38
4.3.5	Calidad de la Energía .....	39
4.3.6	Infraestructura y Mantenimiento.....	39
4.3.7	Integración con Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) .....	40
4.4	Matriz de ponderación de aspectos técnicos .....	40
4.4.1	Evaluación de Alternativas .....	41
4.5	Identificación de aspectos de desarrollo regional .....	41
4.5.1	Mejora en la Calidad de Vida y Salud. ....	42
4.5.2	Desarrollo Económico y Productivo .....	42
4.5.3	Sostenibilidad y Resiliencia .....	43
4.5.4	Asociación y Cooperación Comunitaria .....	43
4.6	Matriz de ponderación de desarrollo regional.....	43

4.6.1	Evaluación de Alternativas .....	43
4.7	Identificación de aspectos sociales.....	44
4.7.1	Las microrredes como dinamizador de las comunidades y la economía local 45	
4.8	Matriz de ponderación de aspectos sociales.....	47
4.8.1	Evaluación de Alternativas .....	47
4.9	Herramienta de análisis de datos.....	48
5	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	48
5.1	Ventajas del modelo de energización agrupado respecto al modelo actual. ....	50
5.1.1	Integración con otra fuente de generación .....	51
5.1.2	Factores relevantes de la integración de soluciones híbridas.....	52
5.2	Factores relevantes y beneficios del cambio del modelo de energización.....	54
5.3	Recomendaciones prácticas y orientadas a la acción para poner en marcha el modelo de energización agrupado.....	55
5.3.1	Estudio de agrupación de las viviendas mediante imágenes de alta resolución. 55	
5.3.2	Tamaño de los sistemas energéticos agrupados .....	57
5.3.3	Esquema de sostenibilidad .....	59
5.3.4	Estudio de proyectos conexos a la energía.....	60
6	CONCLUSIONES.....	63
	Referencias .....	65

**Lista de tablas**

<i>Tabla 1. Diseño metodológico .....</i>	30
<i>Tabla 2. Evaluación de alternativas de aspectos técnicos.....</i>	41
<i>Tabla 3. Evaluación de alternativas de desarrollo regional .....</i>	44
<i>Tabla 4. Evaluación de alternativas sociales .....</i>	47
<i>Tabla 5. Cálculo de puntuación ponderada.....</i>	49

### **Lista de Figuras**

Figura 1. Sistema de generación agrupados.....	18
Figura 2. Topología de la Mini-Red.....	20
Figura 3. Tipos de usuarios .....	21
Figura 4. Redes en malla.....	22
Figura 5. Generación centralizada vs descentralizada .....	23
Figura 6. Sistemas por aldeas.....	23
Figura 7. Mapa de velocidad del viento en Colombia .....	25
Figura 8. Mapa Solar de Colombia .....	26
Figura 9. Método de energización tradicional en ZNI.....	34
Figura 10. Esquema de energización mediante soluciones agrupadas.....	36
Figura 11. Ponderación de los aspectos evaluados. ....	50
Figura 12. Integración de un sistema solar con eólico .....	52

## Resumen

El departamento de La Guajira, ubicado en el norte de Colombia, tiene una extensión de 20,848 km<sup>2</sup>, con la mitad de su territorio siendo desértico y temperaturas entre 30°C y 35°C. La Guajira se divide en tres zonas: baja, media y alta. Las dos últimas están habitadas por la etnia Wayuu, que cuenta con 380,460 personas, representando el 20.2% de los indígenas colombianos, (DANE, 2021).

Las comunidades Wayuu enfrentan problemas para satisfacer sus necesidades básicas debido a las condiciones desérticas, la deficiencia en infraestructura y a sus asentamientos tradicionales. El 84.2% vive en áreas rurales dispersas en rancherías. Un 81.1% de los Wayuu tiene necesidades básicas insatisfechas y el 53.3% vive en condiciones de miseria, y la electricidad es el servicio público más accesible para un 22.2%, (DANE, 2021). Por medio de la electrificación tradicional con soluciones solares individuales, que no ha sido efectivas para estas comunidades, ya que no integra a las comunidades ni satisface sus necesidades colectivas de energía. El gobierno nacional, a través del IPSE, está promoviendo un modelo de microredes y comunidades energéticas que busca mayor eficiencia, sostenibilidad y desarrollo local.

En la investigación se evalúan los factores clave para el cambio del modelo de electrificación tradicional a modelo agrupado, en las comunidades no interconectadas de La Guajira y que cuentan con una concentración de hogares muy cerca uno de los otros. Se busca identificar la necesidad de este cambio, describir las ventajas del modelo agrupado y proponer recomendaciones para su implementación, con el objetivo de mejorar la calidad de vida, promover la sostenibilidad energética y fomentar el desarrollo regional, así como garantizar la energía mínima de subsistencias para estos hogares en zonas remotas de la guajira.

La metodología adoptada para esta investigación es de enfoque mixto, integrando elementos cualitativos y cuantitativos a partir de información secundaria. No se contempla la realización de trabajo de campo directo para el desarrollo del estudio. Al final, se elaborará una guía de recomendaciones dirigida a los tomadores de decisiones en el modelo de electrificación agrupado.

***Palabras clave:** energía, microrredes, inversor, controlador, paneles, comunidad, batería, energización, estrategia, sostenibilidad, escalabilidad, modelo, solar, agrupadas, electrificación, soluciones agrupadas, transición energética, desarrollo social, calidad de vida, electrificación rural, zonas no interconectadas, modelo de energización, paneles solares.*

### **Abstract**

The department of La Guajira, located in northern Colombia, covers an area of 20,848 km<sup>2</sup>, with half of its territory being desert and temperatures ranging between 30°C and 35°C. La Guajira is divided into three zones: low, medium, and high. The latter two are inhabited by the Wayuu ethnic group, which numbers 380,460 people, representing 20.2% of the indigenous population in Colombia (DANE, 2021).

The Wayuu communities face challenges in meeting their basic needs due to desert conditions, inadequate infrastructure, and traditional settlements. 84.2% of them live in rural areas scattered across rancherías. 81.1% of the Wayuu have unmet basic needs, and 53.3% live in conditions of poverty, with only 22.2% having access to electricity (DANE, 2021).

Traditional electrification with individual solar solutions has been ineffective for these communities as it does not integrate the communities nor meet their collective energy needs. The national government, through IPSE, is promoting a model of microgrids and energy communities aimed at greater efficiency, sustainability, and local development.

This research focuses on evaluating the key factors for transitioning from traditional electrification to a grouped model in non-interconnected communities of La Guajira. It aims to identify the need for this change, describe the advantages of the grouped model, and propose recommendations for its implementation, with the goal of improving quality of life, promoting energy sustainability, and fostering regional development, as well as ensuring minimum energy subsistence for these isolated areas of La Guajira.

The methodology will adopt a mixed approach, integrating both qualitative and quantitative elements from secondary information. Direct fieldwork is not considered for the development of

this research. In the end, a set of recommendations for decision-makers regarding the grouped electrification model will be developed.

**Keywords:** *energy, microgrids, inverter, controller, panels, community, battery, electrification, strategy, sustainability, scalability, model, solar, grouped, electrification, grouped solutions, energy transition, social development, quality of life, rural electrification, non-interconnected zones, electrification model, solar panels.*

## Introducción

El departamento de la Guajira está situado en el norte del País y pertenece al grupo de departamentos de la región caribe colombiana, cuenta con una extensión de 20.848 km<sup>2</sup> de los cuales cerca del 50% corresponde a área desértica, con temperaturas que oscilan entre los 30°C y 35°C. El territorio de La Guajira se divide en tres zonas: baja, media y alta Guajira (Silva, 2004), las dos últimas están habitadas por la etnia Wayuu, que cuenta con un total de 380,460 personas reconocidas, siendo la más numerosa del país y representando el 20.2% del total de los indígenas colombianos (DANE, 2021).

Las comunidades indígenas ubicadas en la media y alta Guajira cuentan con múltiples problemas para solventar sus necesidades básicas, esto en razón a su condición desértica del territorio, deficiencias en infraestructura y sus condiciones de asentamiento tradicional. El 84,2% de la población Wayuu reside en área rural dispersa (DANE, 2021), los cuales establecen asentamientos tradicionales de cinco o seis casas que componen una ranchería, estas suelen estar aisladas y lejos uno del otro para evitar mezclar sus rebaños de cabras (López y otros, 2019).

De acuerdo con (DANE, 2021) la proporción de personas del total de la población wayuu con necesidades básicas insatisfechas es del 81,1% y la proporción de miseria es 53,3%, en el acceso de servicios públicos la electricidad es el servicio de mayor cobertura con un 22,2% (DANE, 2021). Por medio del modelo de energización tradicional; la energización eléctrica en esta zona está dada por el proyecto tipo de soluciones solares individuales desarrollado por el Ministerio de Minas (MINMINAS) y la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) en el 2016.

El modelo actual de energización en las zonas no interconectadas de La Guajira, basado en soluciones solares individuales, se presenta como un enfoque estándar que no toma en cuenta la integración comunitaria ni responde a las necesidades específicas de uso compartido, como la refrigeración y el consumo de agua. Estas soluciones carecen de la versatilidad y escalabilidad necesarias para permitir a las comunidades desarrollar proyectos que fomenten el desarrollo regional, social y productivo. Los estudios recientes sugieren que es necesario un cambio hacia

modelos que se adapten a la agrupación de las comunidades y a las actividades económicas que se desarrollan en ellas, así como que contemplen la posibilidad de expansión futura. (Posada, 2021).

Este modelo tradicional, que se ha centrado en la instalación de kits solares individuales, que no han logrado satisfacer adecuadamente las demandas de uso compartido ni fomentar la cohesión social. Las dificultades derivadas de la falta de infraestructura adecuada, las condiciones desérticas y los asentamientos dispersos han puesto de manifiesto la necesidad de un enfoque más adaptado y efectivo.

En respuesta a estas limitaciones, se está impulsando una transición hacia un modelo basado en microrredes y comunidades energéticas. Este nuevo enfoque busca agrupar a los usuarios y proporcionar soluciones más integradas y sostenibles, con el objetivo de mejorar la calidad de vida, impulsar el desarrollo económico y fortalecer la cohesión social en la región.

Para garantizar que esta transición sea exitosa y sostenible a largo plazo, se realiza un análisis exhaustivo de los factores clave y los posibles impactos asociados con el cambio del modelo de energización. La presente investigación se propone abordar este desafío mediante la evaluación de las necesidades específicas de las comunidades wayuu, la identificación de las ventajas del modelo de energización agrupado y la formulación de recomendaciones prácticas para su implementación.

A través de un enfoque metodológico mixto, que combina elementos cualitativos y cuantitativos, esta investigación busca proporcionar información valiosa para los tomadores de decisiones, formuladores de políticas y otros actores relevantes, en la estructuración de proyectos y modelos de energización en las zonas no interconectadas de la Guajira; el objetivo es ofrecer una guía práctica que facilite la transición hacia un modelo de energización más adecuado y beneficioso para las comunidades no interconectadas del departamento de La Guajira.

## **1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Las zonas no interconectadas -ZNI hace referencia a áreas geográficas que no se encuentran conectadas eléctricamente al Sistema Interconectado Nacional -SIN, por ende, no tienen acceso al servicio de energía eléctrica a través del sistema conectado. La prestación del servicio se realiza por medio combustibles fósiles o sistemas alternativos de generación con fuentes no convencionales de energía (Superservicios, 2017). Este es el caso de las comunidades de la Guajira donde por su ubicación geográfica y dispersión de las comunidades no es viable el suministro de energía eléctrica con el SIN.

Tradicionalmente la prestación del servicio de energía eléctrica en las comunidades de la Guajira se realizado por medio de soluciones individuales que se instalan en cada una de las viviendas. Sin embargo, este tipo de modelo genérico no responde a las problemáticas que se requieren para cumplir las necesidades vitales que tienen las comunidades. Adicional a lo largo del proceso se ha probado que las soluciones individuales no generan ningún tipo de integración comunitaria y por ende la sostenibilidad a corto y mediano plazo no se garantiza, con ello la prestación del servicio se ve interrumpida.

El gobierno nacional a través del Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para Zonas No Interconectadas -IPSE viene adelantado un modelo de energización pensado en las comunidades, migrando la energización con soluciones individuales a las soluciones energéticas agrupadas y las comunidades energéticas, creando modelo basados en nanoredes (5 a 10 usuarios), soluciones energéticas agrupadas (11 a 24 usuarios) y miniredes (mayor a 25 usuarios) (IPSE, En el primer año del Gobierno del Cambio, el IPSE creó un modelo de energización pensado en las comunidades y entregó por primera vez energía a 550 usuarios en La Guajira, 2023).

El cambio en el modelo de energización esta alineado con la estrategia de comunidades energéticas que buscan una mayor eficiencia en el consumo, alternativas de inversión colectiva, desarrollo de economía local, fortalecimiento de lazos de la comunidad y redistribución de los beneficios. (BBVA, 2024).

Sin duda el cambio en el modelo de energización responde a las necesidades de las comunidades. Sin embargo, y a fin de que este modelo sea sostenible en el tiempo y logre los objetivos trazados, se hace necesarios estudios que evalúen los factores clave y los posibles impactos asociados con el cambio del modelo de energización.

### **1.1 Descripción del problema**

La transformación en el modelo de energización es una respuesta clave a las necesidades energéticas de las comunidades en la guajira. Sin embargo, para asegurar la sostenibilidad a largo plazo y el logro de los objetivos propuestos, es crucial realizar estudios que analicen los factores fundamentales y los posibles impactos relacionados con esta transición en el modelo energético.

Las comunidades wayuu de la media y alta Guajira, una región en su gran mayoría no interconectada al Sistema Interconectado Nacional (SIN) de Colombia, enfrentan serias dificultades para acceder a la energía eléctrica. La prestación del servicio en estas áreas se ha realizado tradicionalmente mediante con soluciones individuales, como kits solares, que no han logrado satisfacer adecuadamente las necesidades básicas de la población ni promover la integración comunitaria.

Este modelo de energización individual ha demostrado ser ineficaz para abordar las problemáticas específicas de estas comunidades, que incluyen la falta de infraestructura adecuada, condiciones desérticas y asentamientos dispersos. Además, no fomenta la cohesión comunitaria ni garantiza la sostenibilidad a corto y mediano plazo, lo que resulta en interrupciones frecuentes en el suministro de energía.

En respuesta, el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para Zonas No Interconectadas (IPSE) está promoviendo un cambio hacia un modelo basado en microredes y comunidades energéticas, que agrupa a los usuarios y proporciona soluciones más integradas y sostenibles. Sin embargo, para que este nuevo modelo sea efectivo y sostenible a largo plazo, es necesario evaluar los factores clave y los posibles impactos asociados con esta transición.

## **1.2 La pregunta de investigación**

¿Cuáles son los factores claves a considerar al evaluar el cambio del modelo de energización tradicional por modelos agrupados para comunidades de zonas no interconectadas del departamento de La Guajira?

## **1.3 Los objetivos de investigación**

### **1.3.1 Objetivo general**

Evaluar los factores claves a considerar al considerar el cambio del modelo de energización tradicional por modelos agrupados para comunidades de zonas no interconectadas del departamento de La Guajira

### **1.3.2 Objetivos específicos**

1. Describir las ventajas del modelo de energización agrupado respecto al modelo actual.
2. Identificar los factores por lo que es necesario el cambio del modelo de energización tradicional en el departamento de la Guajira.
3. Proponer recomendaciones prácticas y orientadas a la acción para los tomadores de decisiones, formuladores de políticas y otros actores relevantes, para poner en marcha el modelo de energización agrupado.

## **1.4 Justificación de la investigación**

La justificación para esta investigación radica en la necesidad de comprender los efectos potenciales de una transición en el modelo de energización en comunidades no interconectadas del departamento de La Guajira.

*Impacto en la calidad de vida:* El cambio en el modelo de energización puede tener un impacto significativo en la calidad de vida de las comunidades, donde el acceso a servicios básicos por medio electricidad puede ser una realidad, el acceso a agua potable, refrigeración de alimentos

y mantener confort en las edificaciones, pueda ser objeto de estudio como impactos en la calidad de vida de los residentes de las comunidades.

*Sostenibilidad energética:* La transición hacia modelos de energización agrupados puede tener implicaciones importantes para la sostenibilidad a largo plazo del suministro de energía en la región. Un suministro confiable de energía que impulsa el desarrollo de negocios locales, la agricultura, el turismo y otras actividades económicas, creando empleo y aumentando los ingresos.

*Desarrollo regional:* La Guajira es una región con desafíos socioeconómicos significativos, y mejorar el acceso a la energía puede desempeñar un papel importante en el desarrollo regional. Evaluar los factores clave y los impactos asociados con el cambio en el modelo de energización proporcionara información valiosa para el diseño de políticas y programas de desarrollo sostenible en la región.

Esta investigación proporcionará información crucial sobre cómo mejorar el acceso a la energía en comunidades no interconectadas del departamento de La Guajira, con el objetivo de mejorar la calidad de vida, promover la sostenibilidad energética y fomentar el desarrollo regional inclusivo y sostenible.

## **2 MARCO DE REFERENCIA**

El análisis de esta investigación se fundamenta en el hecho de revisar factores y evaluar posibles impactos que pueda tener el cambio en el modelo de energización en la Guajira, logrando sintonía con las políticas que desarrollan actualmente en la región en materia energética y que buscan garantizar el suministro eléctrico de forma responsable y sostenible.

Si bien es cierto que el modelo tradicional ha contribuido a cerrar las brechas de necesidades básicas insatisfechas en las comunidades de la Guajira, surge la necesidad de cambiar este modelo por uno que garantice mejores condiciones de suministro a las comunidades y que a su vez se convierta en eje de transformación social.

## **2.1 Marco de Antecedentes**

Trabajos previos desarrollados muestran que es viable técnicamente soluciones con microrredes, (Quijano y otros, 2019) desarrollaron un modelo concertado con las comunidades wayuu que incluía tanto tecnología solar como eólica. (Hoz y otros, 2021) desarrollan en prefectibilidad un sistema solar fotovoltaico para uso alternativo de energización en a alta Guajira. (Posada, 2021) y (Camargo, 2020) desarrollan en sus proyectos de grado una metodología tipo para la elaboración de portafolio de proyectos del sector de energía para comunidades wayuu y un estudio de viabilidad de la instalación de una microrred de energía de pequeña escala para una población rural en la Guajira.

Todos estos proyectos han contribuido con el pensamiento de un nuevo modelo posible de energización. Sin embargo, los hechos de mayor relevancia en este campo se dan primero con la implementación del prototipo a escala real y funcional de microrred denominado Michi Kai por el IPSE y la adjudicación por más de cuarenta mil millones para la construcción de modelos de energización en la Guajira bajo el modelo de energización comunitario, vinculando proyectos productivos, sistemas de bombeo de agua y telecomunicaciones (IPSE, 2024).

### **2.1.1 Casos de éxito tecnológicos**

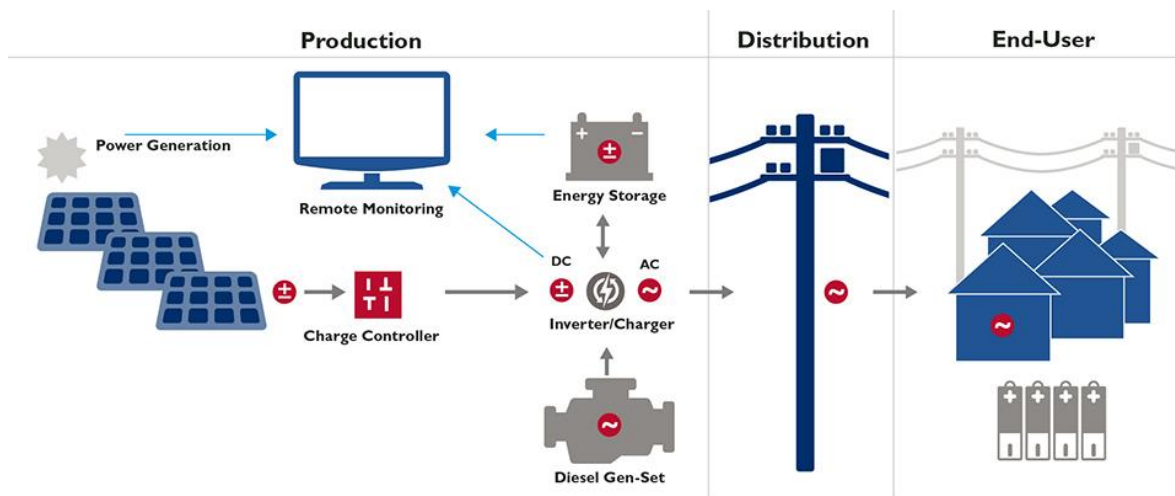
El termino de soluciones agrupadas abarca múltiples topologías, formas de operación y conexión, la elección de cada una de estas debe responder a las necesidades propias de los usuarios finales en cuanto a consumo de energía, así como las restricciones técnicas tales como distribución espacial, potencial energético, escalabilidad etc. En este apartado se estudiarán tres casos de éxito tecnológicos que pueden ser implementables en las comunidades de la Guajira.

### **2.1.2 Sistemas con generación agrupadas convencionales**

Un sistema agrupado convencional se refiere a un sistema de energía local que integra generación, almacenamiento y distribución de electricidad en un área determinada, como una comunidad o una instalación específica, este tipo de sistemas ha sido desarrollado por fabricantes como SMA, Victron, Schneider Electric etc. A diferencia de los sistemas más avanzadas que

## para las comunidades del departamento de la Guajira

pueden incorporar tecnologías emergentes o ser altamente flexibles, un sistema convencional suele tener una estructura más estable y tradicional, la topología típica de este tipo de sistemas se muestra en la figura 1.

**Figura 1.***Sistema de generación agrupados*

*Nota.* Sistema de generación agrupada de varios productores. Tomada de (USAID, 2016)

**Principio de Funcionamiento:** Un sistema agrupado convencional está diseñado para generar electricidad de forma local, utilizando principalmente fuentes de energía renovable como paneles solares, turbinas eólicas o generadores de biomasa. Aunque la prioridad es utilizar recursos renovables para minimizar el impacto ambiental, en algunas situaciones también se pueden integrar fuentes no renovables para asegurar un suministro estable. Esta generación local permite operar de manera autónoma, sin necesidad de depender de una red eléctrica más extensa o centralizada.

Para garantizar un suministro continuo de electricidad, incluso cuando las fuentes de generación renovable no están disponibles (como durante la noche para los paneles solares), el sistema incorpora sistemas de almacenamiento. Estos sistemas pueden incluir baterías de ion de litio, plomo-ácido o soluciones de almacenamiento térmico. Estos dispositivos almacenan la energía generada en exceso durante períodos de baja demanda y la liberan cuando la demanda supera la capacidad de generación, asegurando así un suministro constante y confiable.

## para las comunidades del departamento de la Guajira

La distribución de la electricidad generada y almacenada se realiza a través de una red local de cables y equipos de distribución que transportan la energía a los consumidores dentro del área del sistema. Para gestionar de manera efectiva esta red, se utilizan sistemas de control y gestión que equilibran la oferta y la demanda de energía. Estos sistemas optimizan el uso de los recursos disponibles, supervisan el estado de los componentes y ajustan la generación y el almacenamiento según las necesidades, garantizando una operación eficiente y fiable del sistema.

Este tipo de sistemas mejoran la resiliencia al proporcionar una fuente de energía estable, y contribuyen al desarrollo local al generar empleo y fomentar la economía de la comunidad. También optimizan la eficiencia energética al adaptar la generación y el almacenamiento a las necesidades específicas de la zona. En estos sistemas, la energía se genera en un único punto y debe ser distribuida a las viviendas y consumidores locales, lo que requiere una infraestructura de distribución efectiva para asegurar el suministro adecuado.

### 2.1.3 Sistemas con generación distribuida y control de frecuencia

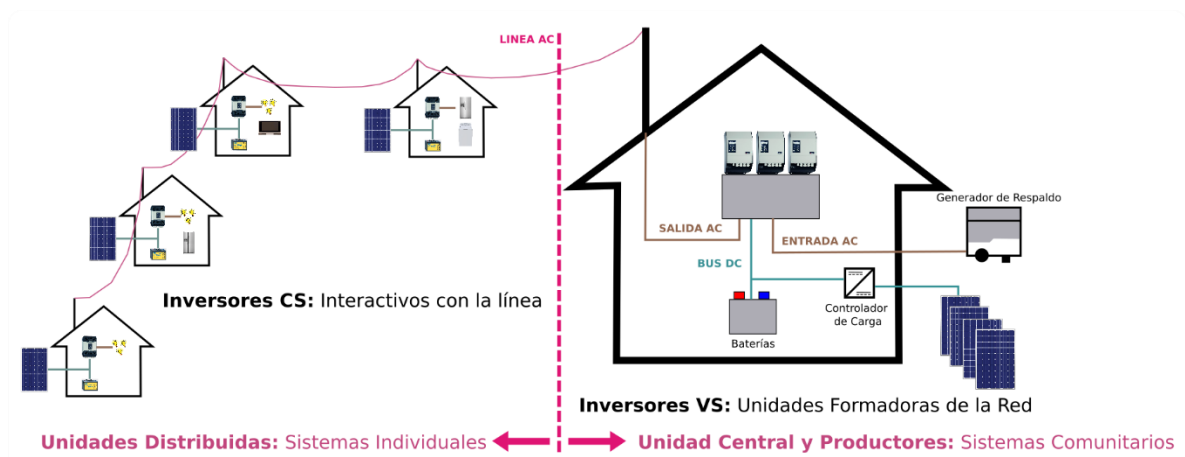
Studer Innotec ha desarrollado una mini-red con generación y almacenamiento distribuido controlado por frecuencia. En esta red, un Inversor Fuente de Voltaje (VSI) central establece la frecuencia y el voltaje, mientras que los Inversores Fuente de Corriente (CSI) distribuidos se sincronizan y controlan en conjunto. El VSI central suministra la energía base, y los CSI distribuidos gestionan el flujo de corriente de acuerdo con el estado de carga de sus baterías y la frecuencia de la red, en la figura 2, se puede ver una representación gráfica.

- ✓ **Optimización del Uso de la Energía:** Cada usuario mantiene autonomía energética con almacenamiento propio y decide cómo compartir la energía excedente con la mini-red, maximizando la eficiencia global.
- ✓ **Compartición de Energía:** Los usuarios pueden almacenar energía o entregar excedentes a la mini-red según la disponibilidad y demanda. La mini-red adapta la energía según las necesidades de los usuarios.
- ✓ **Adaptabilidad:** El sistema se ajusta a diferentes tipos de usuarios (consumidores, productores, prosumidores) y permite flexibilidad para la expansión y ajustes individuales.

- ✓ **Autoconsumo y Reducción del Ciclado de Baterías:** Cada usuario optimiza el autoconsumo y comparte excedentes con la mini-red, reduciendo el desgaste de las baterías.
- ✓ **Fortalezas:** El sistema no requiere un bus de comunicación dedicado, utiliza la frecuencia para transmitir información, y permite un control descentralizado de la energía. Cada usuario gestiona su propia energía, lo que garantiza la flexibilidad y autonomía.

**Figura 2.**

*Topología de la Mini-Red*



*Nota.* Topología de una mini. Tomado de LinkedIn - mini-redes con generación distribuida de energía y control de frecuencia

### 2.1.3.1. Propuesta de valor

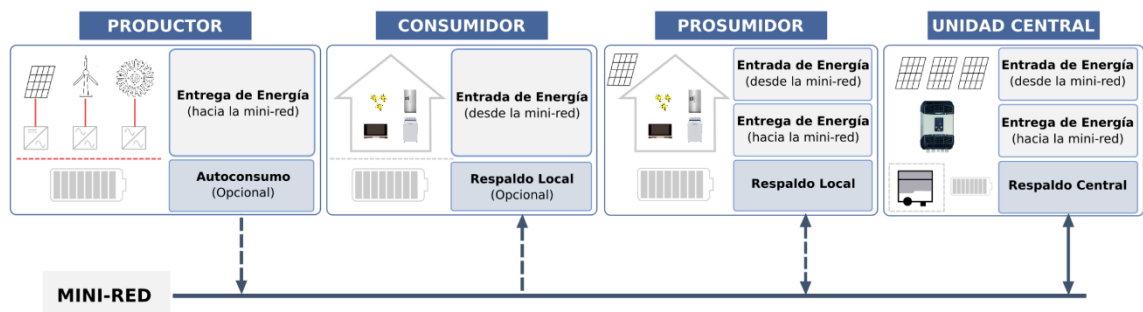
El VSI central controla la frecuencia de la red y los CSI distribuidos ajustan su comportamiento según la frecuencia. El sistema permite una interacción bidireccional, donde los CSI distribuidos pueden entregar o tomar energía de la mini-red basándose en la frecuencia y estado de carga de las baterías.

#### **Ventajas:**

- ✓ **Flexibilidad y Adaptabilidad:** Se puede expandir fácilmente y adaptar a las necesidades futuras.
- ✓ **Independencia Energética:** Cada usuario mantiene autonomía en caso de fallos en la unidad central o en otros sistemas.
- ✓ **Eficiencia y Escalabilidad:** No requiere un bus de comunicación adicional, y los usuarios pueden beneficiarse de la escala del sistema en términos de costos y permisos.

Este enfoque ofrece una solución robusta para el acceso a la energía en comunidades y sistemas energéticos, integrando un modelo de gestión flexible y expansible como se muestra en la figura 3, donde se definen los tipos de usuarios para este modelo.

**Figura 3.**  
*Tipos de usuarios*



*Nota.* Tipo de usuarios. Tomado de LinkedIn - mini-redes con generación distribuida de energía y control de frecuencia

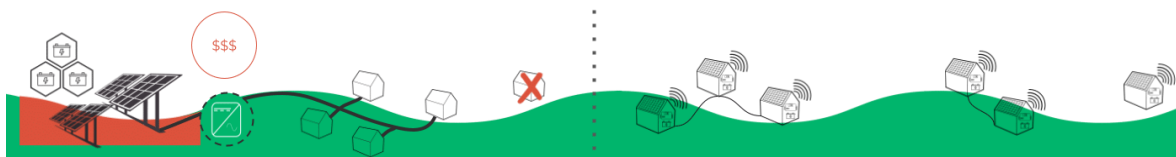
### 2.1.4 Mesh-Grids

Okra Solar ha desarrollado redes de malla (Mesh -Grids) potentes y escalables las cuales son descentralizadas y modulares, este diseño garantiza que la mayor parte de la energía se genere y consuma en el mismo lugar pero además, los hogares vecinos también pueden interconectarse y formar grupos de energía compartida, donde algoritmos inteligentes redistribuyen el exceso de

## para las comunidades del departamento de la Guajira

energía a 50 V CC, que puede ser operada de manera segura por miembros de la comunidad local que tengan capacitación básica.

Esta característica de distribución de energía de las redes en malla permite la variabilidad de la carga, aumenta la confiabilidad y reduce los costos iniciales. Mientras tanto, los hogares aislados pueden permanecer autónomos hasta que haya un hogar vecino que esté listo para conectarse y compartir la energía. Las redes en malla se expanden libremente con el tiempo a medida que más hogares se unen a una red y la demanda crece, como se muestra en la figura 4, donde se realiza la comparación con Microred convencional donde llegar a los usuarios aislados no es técnicamente posible.

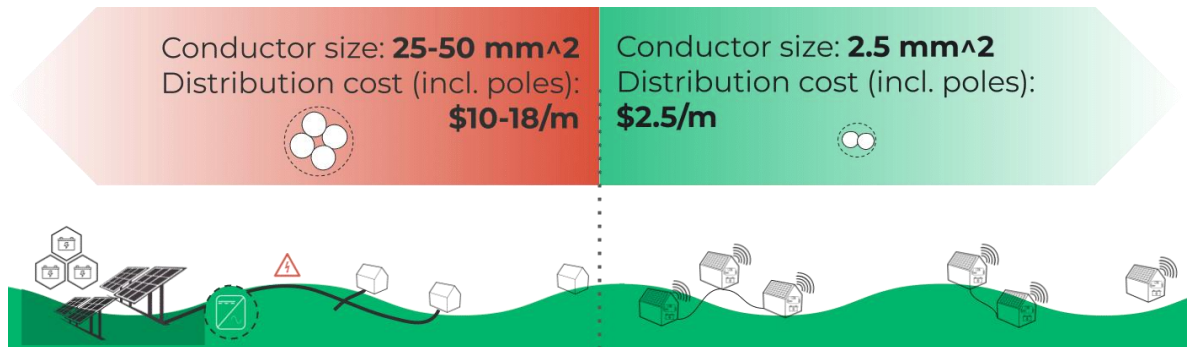
**Figura 4.***Redes en malla*

*Nota.* Redes en malla. Tomado de okrasola.com

Una ventaja fundamental de descentralizar la generación y el almacenamiento es que reduce significativamente la cantidad total de energía que circula por una red, ya que la energía se genera y consume principalmente en el mismo hogar y cualquier excedente se envía de forma óptima a los hogares cercanos. Esta distribución de nodo a nodo en redes en malla requiere cables diez veces más finos, lo que reduce los costos de distribución en un 90% en comparación con las minirredes centralizadas como se muestra en la figura 5.

**Figura 5.**

*Generación centralizada vs descentralizada*



*Nota.* Generación centralizada vs descentralizada. Tomado de okrasola.com

La flexibilidad de este tipo de sistemas permite trabajar desde modo aislado, hasta soluciones de gran tamaño o ser divididas en aldeas cercanas que comparten energía entre sí. Los trabajos desarrollados muestran la expectativa de penetración que pueden tener en diferentes configuraciones como se muestra en la figura 6.

**Figura 6.**

*Sistemas por aldeas*



*Nota.* Organización de sistemas por aldeas. Tomado de okrasola.com

## **2.2 Marco Teórico**

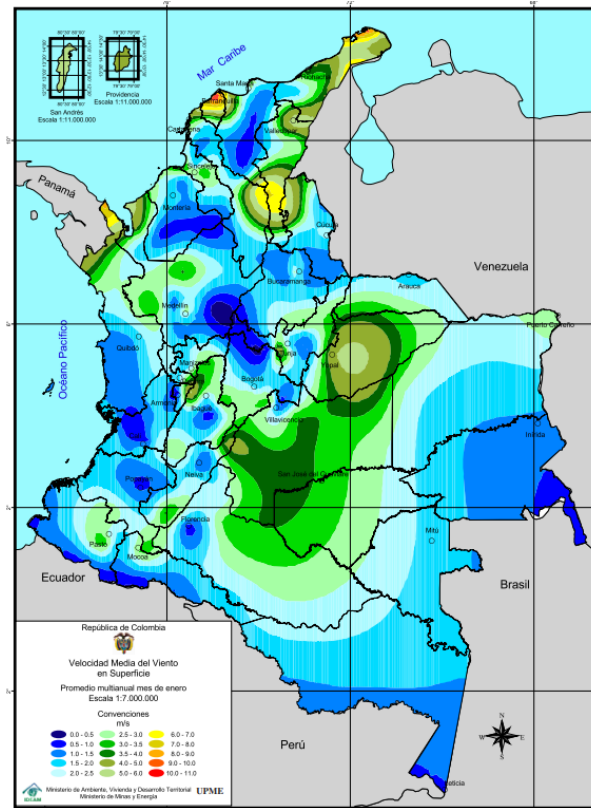
Las difíciles condiciones por la que actualmente atraviesan las comunidades indígenas en la Guajira se deben en gran medida al poco acceso a la energía eléctrica. De acuerdo con (Ojeda y otros, 2017) se evidencia que las actividades en que los indígenas utilizan el servicio de la energía eléctrica, está directamente relacionada con aquellas acciones que mejoran sustancialmente la calidad de vida, tales como la conservación y suministro de su alimentación, la iluminación de sus viviendas, la recreación como ver TV, entre otras actividades.

### **2.2.1 Potencial eólico y solar en Colombia**

Colombia cuenta con un gran potencial de energía eólica y solar, a 2022 la capacidad instalada de energía solar y eólica representa tan solo alrededor del 1,5% de la matriz de generación de energía eléctrica. Sin embargo, al 2027 se proyecta un fuerte aumento en la generación de energía solar y eólica. Si la capacidad ya aprobada entra efectivamente en funcionamiento, el porcentaje de energía solar y eólica en la matriz de energética de Colombia aumentará hasta casi el 40% en 2027, Según SER Colombia, el gran potencial de energía eólica y solar del país se estima en 30 GW y 32 GW, respectivamente, lo que supera la capacidad instalada actual de Colombia de 18,8 GW. La región de La Guajira es de particular interés, con recursos eólicos de clase mundial (velocidad media del viento de 9,8 m/s) y 18 GW del potencial eólico de Colombia. Sin embargo, este potencial ha permanecido en gran medida sin explotar: la capacidad instalada operativa del país en la energía solar en 2022 fue de 290 MW y para la eólica de 18,4 MW, lo que representa el 1,5% y el 0,1% de la generación eléctrica, respectivamente. En la figura 7, tomada del IDEAM, se refleja la velocidad del viento en las diferentes zonas del país, siendo el departamento de La Guajira el que más potencial tiene. (Vega Araújo & Muñoz Cabré, 2023).

**Figura 7.**

*Mapa de velocidad del viento en Colombia*

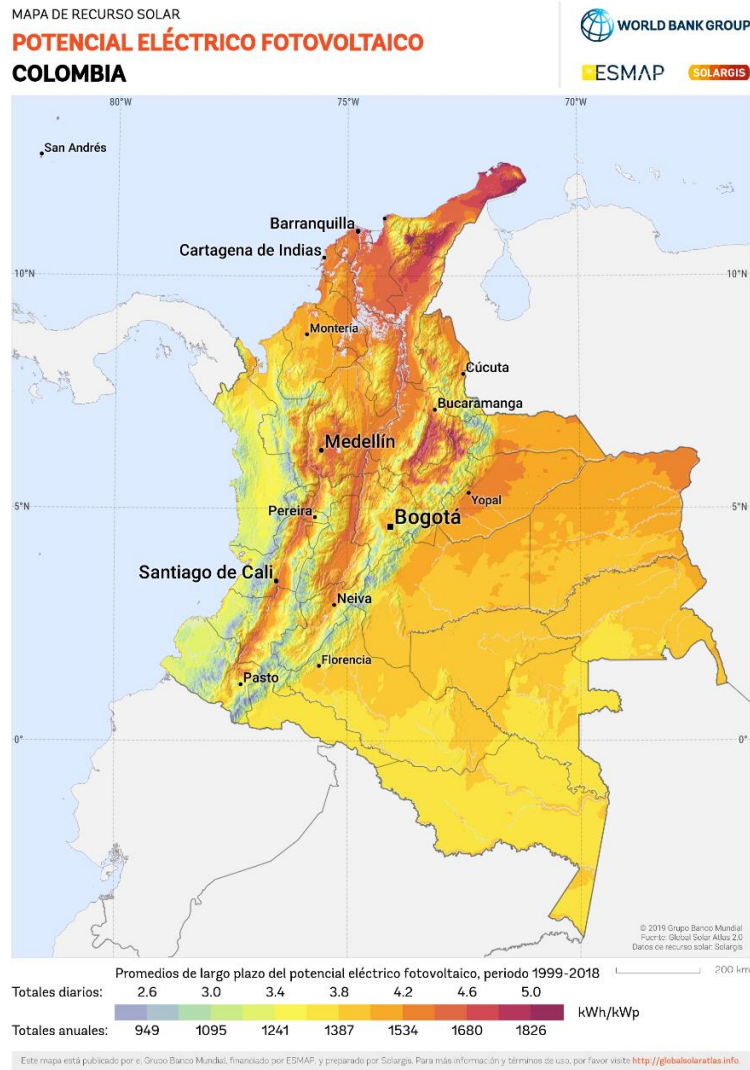


*Nota:* Atlas de viento y energía eólica de Colombia. Tomada de (Colombia. Ministerio de Industrias, 2019)

En cuanto al potencia eléctrico fotovoltaico, Colombia está ubicada en la zona ecuatorial, lo que le otorga una radiación solar constante y elevada durante todo el año. El país recibe un promedio de 4,5 a 6,0 kWh/m<sup>2</sup>/día, lo que representa un alto potencial para la generación de energía fotovoltaica. Regiones como la Guajira, el Magdalena Medio y los Llanos Orientales destacan por tener una irradiación solar particularmente alta, lo que las convierte en zonas ideales para el desarrollo de proyectos solares a gran escala como se logra visualizar en la Figura 8, tomada de la página Solaris. (FISE, 2019)

**Figura 8.**

*Mapa Solar de Colombia*



*Nota:* Mapa del potencial fotovoltaico en Colombia. Tomada de (Solargis, 2021)

## 2.2.2 Topologías para microrredes

Las microrredes son sistemas eléctricos de menor escala que pueden funcionar de manera independiente o en conjunto con la red principal. Ofrecen numerosos beneficios, incluyendo mayor resiliencia, confiabilidad, eficiencia y sostenibilidad. Sin embargo, el diseño de una microrred es una tarea compleja que requiere considerar diversos factores, como el perfil de carga, las fuentes

## para las comunidades del departamento de la Guajira

de generación, las estrategias de control y las opciones de interconexión. Una de las decisiones cruciales es la elección de la topología de la microrred, que define cómo se conectan y configuran los componentes. A continuación, se detallan las principales topologías utilizadas.

**CA, CC o híbrido:** La decisión inicial es si la microrred usará corriente alterna (CA), corriente continua (CC) o una combinación de ambas (híbrido). La CA, común en redes y edificaciones, es versátil, pero presenta problemas como mayores pérdidas y calidad de energía. La CC es más eficiente y compatible con energías renovables, pero necesita convertidores y estándares adicionales. Las microrredes híbridas aprovechan ambas corrientes, pero son más complejas y costosas. La elección depende de los objetivos y limitaciones del proyecto.

**Centralizado, distribuido o descentralizado:** El control de la microrred puede ser centralizado, distribuido o descentralizado. El control centralizado utiliza un único controlador maestro, simplificando la gestión, pero con un único punto de falla. El control distribuido divide la microrred en sub-microrredes con controladores locales, aumentando la fiabilidad, pero también los requisitos de comunicación. El control descentralizado permite a cada componente actuar de manera autónoma, mejorando la escalabilidad, pero reduciendo la coordinación global. La elección debe equilibrar rendimiento, confiabilidad y complejidad.

**Radial, mallado o anillo:** La configuración física de la microrred puede ser radial, mallada o en anillo. La topología radial, simple y económica, tiene una sola ruta entre nodos, lo que reduce costos, pero limita la redundancia. La topología mallada ofrece alta redundancia y flexibilidad con múltiples rutas, aunque incrementa costos. La topología en anillo ofrece un equilibrio, con dos rutas entre nodos, mejorando la redundancia y flexibilidad, pero añadiendo cierta complejidad y costo. Se deben considerar las compensaciones entre simplicidad, robustez y adaptabilidad para elegir la mejor opción. (Diseño Eléctrico, s.f.)

De esta manera se identifican conceptos aplicables a este trabajo como la energización eléctrica con microrredes, mejoramiento de calidad de vida y sostenibilidad del modelo.

**Energización eléctrica con microrredes:** Es un enfoque de suministro de energía que utiliza sistemas de generación distribuida y almacenamiento de energía para abastecer de electricidad a comunidades o áreas geográficas específicas. Las microrredes operan de manera

autónoma y ofrecen beneficios como mayor resiliencia, menor impacto ambiental, mayor acceso a la energía, flexibilidad y escalabilidad.

**Mejoramiento de la calidad de vida:** Se refiere a la búsqueda y aplicación de medidas que tienen como objetivo aumentar el bienestar general y la satisfacción de las personas en diversos aspectos de sus vidas. Esto puede implicar mejoras en áreas como la salud, la educación, el acceso a servicios básicos, el medio ambiente, las relaciones sociales y la seguridad económica, entre otros

**Sostenibilidad del modelo:** Se refiere a la capacidad de las microrredes para proporcionar un suministro eléctrico confiable y asequible a largo plazo, sin comprometer los recursos naturales y el medio ambiente. Implica equilibrar la eficiencia económica, la responsabilidad ambiental y la equidad social en el diseño, la implementación y la operación de las microrredes eléctricas.

### 2.3 Marco Normativo

Para el desarrollo de la investigación se tendrán como marco normativo las disposiciones dispuestas para el suministro de energía en zonas no interconectadas.

*Ley 1715 de 2014*, “Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional”. (Marín Torres y otros, 2022).

*Decreto 1623 de 2015*, “Por el cual se modifica y adiciona el Decreto 1073 de 2015, en lo que respecta al establecimiento de los lineamientos de política para la expansión de la cobertura del servicio de energía eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional y en las Zonas No Interconectadas.”

*Resolución 1283 de 2016*, “Por la cual se establece el procedimiento y requisitos para la expedición de la certificación de beneficio ambiental por nuevas inversiones en proyectos de FNCER y Gestión Eficiente de la Energía para obtener los beneficios tributarios de que tratan los artículos 11, 12, y 14 de la ley 1715 de 2014 y se adoptan otras determinaciones”. (Marín Torres y otros, 2022).

*Resolución 181272 de 2011*, “Por la cual se ajusta el procedimiento para otorgar subsidios del sector eléctrico en las Áreas de Servicio Exclusivo de las Zonas No Interconectadas Continentales y se deroga la Resolución 180195 de 2011”. (Marín Torres y otros, 2022).

*Resolución 182138 de 2007*, “Por la cual se expide el Procedimiento para otorgar subsidios del sector eléctrico en las ZNI” (Marín Torres y otros, 2022).

*Resolución 091 de 2007*, “Por la cual se establecen metodologías generales para remunerar las actividades de generación, distribución y comercialización de energía eléctrica y las fórmulas tarifarias, generales para establecer al costo unitario de prestación del servicio público de energía eléctrica en las ZNI.” (Marín Torres y otros, 2022).

### 3 METODOLOGÍA

La metodología de investigación adoptada para este estudio integrará un enfoque mixto que combine tanto elementos cualitativos como cuantitativos que permita el análisis de información de expertos como de datos estadísticos y económicos. Esta estrategia metodológica se ha elegido para ofrecer una comprensión de los factores clave a considerar en el cambio en un modelo de energización tradicional por un modelo agrupado. A continuación, se procede a establecer el diseño metodológico de cada uno de los objetivos de la investigación con el fin de comprender la ruta que se seguirá para su cumplimiento:

#### 3.1 Diseño metodológico

Con la base en el enfoque mixto de la investigación, en la *Tabla 1* se presenta por cada uno de los objetivos la ruta que se seguirá para el cumplimiento de este.

**Tabla 1.** *Diseño metodológico*

Objetivo	Diseño Metodológico
Identificar los factores por lo que es necesario el cambio del modelo de energización tradicional en el departamento de la Guajira.	La consulta de información secundaria, como informes institucionales, informes técnicos, estudios previos y artículos de investigación con el objetivo de identificar los elementos por lo que es necesario el cambio del modelo de energización tradicional en el departamento de la Guajira. Se construirá una matriz de ponderación.
Describir las ventajas del modelo de energización agrupado respecto al modelo actual.	La consulta de información secundaria de casos de éxito, informes técnicos de fabricantes y artículos de investigación con el objetivo de identificar y describir las ventajas del modelo de energización agrupado respecto al modelo actual.

Objetivo	Diseño Metodológico
Proponer recomendaciones prácticas y orientadas a la acción para los tomadores de decisiones, formuladores de políticas y otros actores relevantes, para poner en marcha el modelo de energización agrupado.	Con la información recopilada y analizada en los dos objetivos anteriores se procede a realizar una guía de recomendaciones orientada a los tomadores de decisiones para poner en marcha el modelo de energización agrupado en las comunidades del departamento de la Guajira.

### 3.2 Enfoque de la Investigación y Alcance de la investigación

La investigación adopta un enfoque mixto que integra tanto métodos cualitativos como cuantitativos, lo que permite una comprensión integral de los factores clave en la evaluación del cambio de un modelo de energización tradicional a un modelo agrupado en comunidades no interconectadas del departamento de La Guajira. Los métodos cualitativos se enfocarán en la revisión y análisis de la literatura existente, informes técnicos, estudios previos y artículos de investigación. Por su parte, los métodos cuantitativos abarcarán el análisis de datos consolidados en una matriz de ponderación donde se aprecian las ventajas más relevantes de los sistemas de energización agrupados con respecto al modelos tradicional.

#### 3.2.1 Identificación de Factores Clave:

- ✓ Revisión de información secundaria, como informes institucionales y técnicos, estudios previos y artículos de investigación para identificar los elementos que justifican la necesidad de cambiar el modelo de energización tradicional en La Guajira.
- ✓ Construir una matriz de ponderación con la información seleccionada para evaluar estos factores.

### **3.2.1 Descripción de las Ventajas del Modelo Agrupado:**

- ✓ Analizar casos de éxito, informes técnicos de fabricantes y artículos de investigación para identificar y describir las ventajas del modelo de energización agrupado en comparación con el modelo actual.
- ✓ Crear un apartado detallado que compile esta información y destaque las principales ventajas.

### **3.2.2 Propuestas de Recomendaciones Prácticas:**

- ✓ Elaborar una guía de recomendaciones basada en el análisis de los factores clave y las ventajas identificadas, orientada a los tomadores de decisiones, formuladores de políticas y otros actores relevantes.
- ✓ La guía proporcionará recomendaciones prácticas y orientadas a la acción para implementar el modelo de energización agrupado en las comunidades de La Guajira.

## **3.3 Población y muestra**

La investigación está orientada para las comunidades de zonas no interconectadas del departamento de La Guajira, de esta manera se considerarán los aspectos más relevantes de las mismas mediante la indagación de información secundaria documental. No se contempla dentro del alcance la aplicación de encuestas, entrevistas o similares por lo tanto no se determina trabajo en campo.

## **4 FACTORES CLAVES DEL MODELO DE ENERGIZACIÓN**

De acuerdo con lo mencionado en el capítulo 3 “Metodología” se plantea la consulta de información secundaria con el fin de identificar los factores por los cuales es necesario el cambio del modelo de energización en ZNI tradicional en el departamento de la Guajira, con el objetivo de construir una matriz de ponderación. Este apartado se abordará considerando los aspectos técnicos, sociales y desarrollo regional y como estos influyen el cambio del modelo de energización tradicional por un modelo agrupado en ZNI.

En las zonas rurales y remotas de Colombia, como La Guajira, la electrificación es un desafío significativo debido a la falta de conexión a la red eléctrica convencional. Tradicionalmente, la solución ha sido la instalación de paneles solares individuales en cada vivienda, lo que proporciona una fuente básica de energía. Sin embargo, este método presenta limitaciones en términos de capacidad, distribución, y escalabilidad, dejando insatisfechas muchas de las necesidades energéticas de las comunidades.

Ante estas limitaciones, surge la propuesta de soluciones energéticas agrupadas, un enfoque integral que pueden combinar diversas fuentes de energía, como solar, eólica y generadores de respaldo, en un sistema interconectado. Este modelo no solo busca garantizar un suministro energético más confiable y eficiente, sino que también promueve el desarrollo sostenible y mejora la calidad de vida de las comunidades, alineándose con los objetivos de desarrollo social y reducción de la pobreza en las zonas no interconectadas.

#### **4.1 Energización por método tradicional**

En las zonas no interconectadas, donde no llega la red eléctrica convencional, la solución tradicional para suministrar energía a cada vivienda es la instalación de paneles solares. Estos paneles, ubicados en los techos de las viviendas o en áreas con buena exposición solar con estructuras monopolares, en la figura 9, se muestra un ejemplo ilustrativo de este tipo de soluciones.

La electricidad generada es en corriente continua (CC), por lo que se requiere un inversor para convertirla en corriente alterna (CA), que es la forma en que se utiliza la energía en los hogares. Para garantizar el suministro energético durante la noche o en días nublados, se emplean baterías que almacenan el exceso de energía generada durante el día, asegurando así su disponibilidad cuando no hay luz solar.

La energía, una vez convertida y almacenada, se distribuye a los diferentes puntos de consumo dentro de la vivienda, alimentando la iluminación, electrodomésticos y otros dispositivos eléctricos. Es fundamental realizar un mantenimiento periódico del sistema para asegurar su correcto funcionamiento y prolongar su vida útil.

Este método tradicional cumple con la función esencial de proporcionar una cantidad básica de energía al usuario final. No obstante, presenta varias limitaciones significativas en términos de capacidad, distribución, y escalabilidad. En primer lugar, la capacidad del sistema está restringida, lo que dificulta su adaptación a las crecientes demandas energéticas. En segundo lugar, la distribución de energía puede ser ineficiente, resultando en una cobertura desigual. Finalmente, la escalabilidad del método es limitada, lo que impide su expansión efectiva para satisfacer las necesidades energéticas en evolución. Como resultado, este método solo es capaz de suministrar una fracción del mínimo vital necesario para una vivienda, sin poder cubrir la totalidad de las necesidades energéticas del hogar y aun sin poder generar la transformación social con las que se concibe este tipo de proyectos.

**Figura 9.**

*Método de energización tradicional en ZNI*



*Nota.* Elaboración propia

**4.2 Energización mediante soluciones agrupadas.**

En el marco del desarrollo sostenible y la mejora de la calidad de vida en comunidades rurales y remotas, se presenta una propuesta integral para energizar con soluciones agrupadas. Este

## para las comunidades del departamento de la Guajira

enfoque se basa en la implementación de sistemas energéticos que pueden integrar varias fuentes de energía, como paneles solares, turbinas eólicas, generadores diésel, entre otras, para suministrar electricidad, en la figura 10, se muestra un ejemplo ilustrativo de este tipo de soluciones.

El primer paso en la implementación de soluciones agrupadas consiste en realizar un diagnóstico exhaustivo de la comunidad, identificando sus necesidades energéticas, recursos disponibles y limitaciones actuales. Esto incluye evaluar la infraestructura existente, las fuentes de energía localmente accesibles, como recursos solares, eólicos o hídricos, y las expectativas de crecimiento de la demanda energética. Este análisis permitirá diseñar un sistema optimizado que integre múltiples fuentes de energía y tecnologías, garantizando la sostenibilidad y eficiencia del proyecto.

La solución energética agrupada que combina diversas tecnologías y recursos energéticos en un único sistema interconectado. Este sistema podría incluir energía solar fotovoltaica mediante la instalación de paneles solares en áreas con alta radiación solar, energía eólica con la implementación de aerogeneradores en zonas con suficiente viento, almacenamiento de energía mediante baterías de alta capacidad para almacenar el excedente generado, y generación convencional a través de generadores diésel o a gas como respaldo en casos de emergencia. Además, se implementarán sistemas de gestión inteligente que optimicen el uso de los recursos energéticos disponibles, ajustando la producción y el consumo en tiempo real para maximizar la eficiencia y reducir desperdicios.

La fase de implementación contempla la instalación de los sistemas energéticos y la construcción de la infraestructura necesaria para la distribución de la energía en la comunidad. Además, es fundamental capacitar a la comunidad local en el manejo y mantenimiento de los sistemas instalados, asegurando su sostenibilidad a largo plazo. Esto incluye formación en operación diaria, solución de problemas y gestión de la energía generada.

Una vez que la solución agrupada esté en funcionamiento, se establecerán sistemas de monitoreo continuo para evaluar el desempeño del sistema, identificar áreas de mejora y planificar futuras expansiones. El monitoreo también permitirá ajustar el sistema según cambios en la demanda energética o en las condiciones locales, garantizando que la solución continúe siendo adecuada y eficiente con el tiempo.

Energizar comunidades con soluciones agrupadas representa un enfoque integral y adaptable que responde a las necesidades energéticas de manera sostenible y eficiente. Al combinar diversas tecnologías y recursos, se asegura un suministro de energía confiable, se promueve el desarrollo local y se contribuye a la reducción de la pobreza. Este enfoque no solo mejora la calidad de vida de las comunidades, sino que también impulsa el desarrollo económico y social, alineándose con los objetivos de desarrollo sostenible

**Figura 10.**

*Esquema de energización mediante soluciones agrupadas*



*Nota.* Elaboración propia

### 4.3 Identificación de aspectos técnicos

Las soluciones energéticas agrupadas y las soluciones fotovoltaicas individuales son formas de aprovechar la energía solar, pero tienen diferencias significativas en términos de escala, complejidad y beneficios. A continuación, se presentan los factores a considerar cuando se tienen soluciones agrupadas en lugar de soluciones fotovoltaicas individuales:

### 4.3.1 Gestión de la Energía y Control Inteligente

**Sistemas de Control Avanzados:** Las soluciones energéticas agrupadas utilizan sistemas de gestión y control avanzado que permiten la monitorización en tiempo real y la optimización del uso de la energía. Estos sistemas pueden equilibrar la carga, gestionar la demanda y maximizar la eficiencia operativa. La tecnología de control de soluciones energéticas agrupadas permite ajustar dinámicamente la generación y el consumo de energía según las necesidades cambiantes. (Altin, N., & Eyimaya, S. E, 2021)

**Respuesta a la Demanda:** Las soluciones energéticas agrupadas pueden ajustar automáticamente la generación y el consumo de energía en función de la demanda, lo que mejora la eficiencia energética y reduce los costos operativos. Los sistemas de respuesta a la demanda integrados pueden reaccionar rápidamente a los cambios en la carga y a las condiciones de la red, asegurando un suministro energético estable y eficiente. (NREL, 2021)

En cuanto a las soluciones individuales generalmente tienen controles básicos, principalmente para maximizar la generación de energía solar sin considerar la demanda en tiempo real. Adicional no pueden ajustar automáticamente la generación y el consumo según la demanda.

### 4.3.2 Almacenamiento de Energía

**Integración con Baterías:** Las soluciones energéticas agrupadas pueden integrar sistemas de almacenamiento de energía en batería, lo que permite almacenar el exceso de energía generado durante el día para su uso durante la noche o en momentos de alta demanda. Esto es crucial para garantizar un suministro energético constante y fiable. (Georgious, R., Refaat, R., Garcia, J., & Daoud, A. A., 2021)

**Estabilidad y Fiabilidad:** El almacenamiento de energía ayuda a estabilizar la red y proporciona un respaldo en caso de interrupciones del suministro energético. Las baterías pueden suavizar las fluctuaciones en la generación de energía solar, asegurando que la energía esté disponible cuando se necesita. (Georgious, R., Refaat, R., Garcia, J., & Daoud, A. A., 2021)

En las soluciones fotovoltaicas individuales se cuenta con acceso limitado de la energía en las que se incorpora baterías de menor capacidad debido a limitaciones de espacio y costos, mientras que la estabilidad está limitada por la capacidad de la misma batería.

### 4.3.3 Optimización de la Generación

***Diversidad de Fuentes:*** Las soluciones energéticas agrupadas pueden incorporar múltiples fuentes de generación, como energía solar, eólica, y generadores de emergencia. Esta diversidad mejora la fiabilidad del suministro energético y reduce la dependencia de una sola fuente. (Smith, M., & Ton, D., 2013)

***Reducción de Variabilidad:*** Al combinar diferentes fuentes de energía, las soluciones energéticas agrupadas pueden mitigar la variabilidad inherente a la generación solar, proporcionando un suministro más constante y predecible. Esto es particularmente importante para aplicaciones críticas donde la continuidad del suministro es esencial. (Smith, M., & Ton, D., 2013)

Las soluciones fotovoltaicas individuales dependen exclusivamente de la energía solar fotovoltaica por lo que la disponibilidad es dependiente de esta fuente dada por las condiciones meteorológicas propias del sitio y el momento.

### 4.3.4 Interconexión y Operación en Modo Isla

***Operación Aislada:*** Las soluciones energéticas agrupadas pueden operar de manera autónoma (modo isla) cuando se desconectan de la red principal, proporcionando energía de respaldo en caso de fallos de la red principal. Esta capacidad es esencial para garantizar la resiliencia energética en situaciones de emergencia. (Ustun, T. S., 2016)

***Sincronización con la Red Principal:*** Pueden sincronizarse con la red eléctrica principal para intercambiar energía, exportar excedentes y equilibrar cargas, mejorando la estabilidad y eficiencia del sistema eléctrico general. Esto permite a las soluciones energéticas agrupadas operar de manera eficiente tanto en modo conectado como en modo aislado, esto en caso de tener posibilidad de interconexión con la red eléctrica. (Cho, C., Jeon, J. H., Kim, J. Y., Kwon, S., Park, K., & Kim, S., 2011)

Las soluciones fotovoltaicas individuales generalmente no poseen la posibilidad de interconectarse con la red y en tal caso la potencia está limitada por la capacidad del equipo limitando la posibilidad de aprovechar la energía disponible.

#### 4.3.5 Calidad de la Energía

**Mejora de la Calidad:** Las soluciones energéticas agrupadas pueden mejorar la calidad de la energía suministrada, reduciendo problemas como caídas de tensión, armónicos y fluctuaciones de frecuencia. Los sistemas avanzados de control y protección aseguran que la energía suministrada cumpla con los estándares de calidad requeridos. (Sepasi, S., Talichet, C., & Pramanik, A. S, 2023)

**Protección y Seguridad:** Utilizan dispositivos de protección y sistemas de monitoreo avanzados para detectar y aislar fallos, asegurando un suministro energético seguro y fiable. Esto es crucial para proteger los equipos sensibles y garantizar la seguridad operativa. (Sepasi, S., Talichet, C., & Pramanik, A. S, 2023)

En la actualidad los equipos utilizados en las soluciones fotovoltaicas individuales cuentan con la capacidad de generar a la salida una onda con los parámetros de funcionamiento de los equipos eléctricos, sin embargo, debido a su baja capacidad suelen presentar problemas de fluctuaciones con cargas de mayor capacidad, adicional que no es posible la conexión de equipos de consumos mayores a la potencia del equipo.

#### 4.3.6 Infraestructura y Mantenimiento

**Mantenimiento Centralizado:** La gestión centralizada de las soluciones energéticas agrupadas facilita el mantenimiento y la reparación, reduciendo los tiempos de inactividad y mejorando la eficiencia operativa. Esto es particularmente importante para sistemas complejos donde la coordinación es clave para la operación eficiente. (Keisang, K., Bader, T., & Samikannu, R, 2021)

**Actualizaciones y Mejoras:** Las soluciones energéticas agrupadas permiten implementar mejoras y actualizaciones tecnológicas de manera más efectiva, asegurando que el sistema se

mantenga a la vanguardia de la tecnología. La infraestructura modular de las soluciones energéticas agrupadas facilita la incorporación de nuevas tecnologías y mejoras sin interrumpir la operación. (Keisang, K., Bader, T., & Samikannu, R, 2021)

En cuanto al mantenimiento de las soluciones solares fotovoltaicas individuales esta se debe hacer de manera descentralizada que se traduce en más tiempos de desplazamiento y mayor recurrencia de fallas por las condiciones de operación. Las mejoras tecnológicas en este tipo de soluciones tienden a ser muy bajas por las condiciones tecnológicas de los equipos.

#### **4.3.7 Integración con Tecnologías de Información y Comunicación (TIC)**

**Internet de las Cosas (IoT):** Las soluciones energéticas agrupadas pueden utilizar dispositivos IoT para la monitorización y control remoto, mejorando la visibilidad y gestión del sistema. Los dispositivos IoT proporcionan datos en tiempo real que pueden ser utilizados para optimizar la operación y mejorar la eficiencia energética. (Albarakati, A. J., Boujoudar, Y., Azeroual, M., Eliysaouy, L., Kotb, H., Aljarbouh, A., ... & Pupkov, A. (2022), 2022)

**Big Data y Análisis:** Utilizan herramientas de análisis de datos para predecir patrones de consumo, identificar ineficiencias y optimizar la operación del sistema. El análisis de big data permite a las soluciones energéticas agrupadas adaptar su operación a las condiciones cambiantes y maximizar el uso de recursos disponibles. (Albarakati, A. J., Boujoudar, Y., Azeroual, M., Eliysaouy, L., Kotb, H., Aljarbouh, A., ... & Pupkov, A. (2022), 2022)

En cuanto a la integración con la tecnología de la información y comunicaciones en las soluciones individuales no es posible la integración con algún tipo de gestión ya que al ser dispersas se requiere conexión a internet en cada una haciéndolas ineficientes en este sentido. Adicional estos equipos tienden a tener parámetros de monitoreo muy básicos lo que impide una integración de los datos a los sistemas de información.

#### **4.4 Matriz de ponderación de aspectos técnicos**

Para realizar una matriz de ponderación que compare las ventajas técnicas de las soluciones agrupadas y las soluciones fotovoltaicas individuales, se utiliza criterios clave y se les asigna un

## para las comunidades del departamento de la Guajira

peso basado en su importancia relativa. Posteriormente, se evalúa ambas alternativas frente a cada criterio y se calcula una puntuación ponderada. En donde las puntuaciones se asignan en una escala del 1 al 5, donde 1: Muy bajo, 2: Bajo, 3: Moderado, 4: Alto, 5: Muy alto

#### 4.4.1 Evaluación de Alternativas

En la Tabla 2 se muestran los criterios estudiados anteriormente asignando una puntuación a cada una de las alternativas; para cada criterio.

**Tabla 2.** *Evaluación de alternativas de aspectos técnicos*

Criterio	Peso (%)	Soluciones Agrupadas	Soluciones Individuales
Gestión de la Energía y Control Inteligente	20	5	2
Almacenamiento de Energía	15	4	2
Optimización de la Generación	15	5	2
Interconexión y Operación en Modo Isla	15	5	1
Calidad de la Energía	15	5	3
Infraestructura y Mantenimiento	10	4	3
Integración con Tecnologías de Información	10	5	2

#### 4.5 Identificación de aspectos de desarrollo regional

Según (Artesanías de Colombia S.A. - UPME, 2024) Los wayuu son un pueblo indígena que habita la península de la Guajira, la parte más nororiental de Colombia, limítrofe con Venezuela; esta comunidad de estructura matriarcal se ha adaptado a las inclemencias del clima de un desierto de paisajes alucinantes frente al mar Caribe. En su mayoría, se dedican a la cría de chivos y la mujer wayuu se dedica al tejido de chinchorros o hamacas para dormir, las cuales pueden llevar grabado algún nombre ya sea de un clan o una familia wayuu a la que pertenezca.

Desde una perspectiva étnica y con un enfoque territorial para lograr una mayor sostenibilidad. Esta solución permite una mayor capacidad de generación de energía para respaldar

proyectos productivos, es más eficiente en términos de costos, proporciona mayor resiliencia y simultaneidad al sistema, y es escalable conforme crezca la demanda. (IPSE, 2023)

El acceso a la energía mediante modelos de energización comunitaria o agrupada genera impactos positivos en el desarrollo territorial. En el contexto de la distribución de las familias Wayuu en las rancherías y su economía, este modelo de energización propone una integración comunitaria que permite el desarrollo de proyectos conexos, como la implementación de casetas solares para la potabilización de agua. Este enfoque, dirigido a las comunidades Wayuu de La Guajira, aprovechando la energía proporcionada por los proyectos agrupados, mejorando significativamente la calidad de vida de los habitantes y teniendo un impacto positivo en la salud.

Estos proyectos promueven la asociación para el desarrollo, la comercialización y la conservación de alimentos que constituyen el sustento de la comunidad, como la carne de chivo y pescado. Además, facilitan el desarrollo de labores artesanales durante las horas nocturnas, lo que incrementa la producción de estos productos. El acceso a la energía mediante modelos de energización comunitaria o agrupada tiene impactos positivos significativos en el desarrollo territorial de las comunidades Wayuu en la Guajira. Estos beneficios se manifiestan los siguientes aspectos clave:

#### **4.5.1 Mejora en la Calidad de Vida y Salud.**

**Agua Potable:** La implementación de casetas solares para la potabilización de agua asegura el acceso a agua limpia, reduciendo enfermedades relacionadas con el consumo de agua contaminada.

#### **4.5.2 Desarrollo Económico y Productivo**

**Alimentos:** La energía facilita la conservación y comercialización de productos básicos como la carne de chivo y pescado, asegurando un sustento constante para la comunidad.

**Artesanías:** La disponibilidad de electricidad durante la noche permite a los artesanos aumentar su producción, mejorando sus ingresos y fomentando el desarrollo cultural.

### **4.5.3 Sostenibilidad y Resiliencia**

*Eficiencia en Costos:* Los proyectos de energización comunitaria son más eficientes en costos a largo plazo, permitiendo un uso más sostenible de los recursos.

*Escalabilidad:* Estos proyectos son escalables y pueden expandirse según crezca la demanda, asegurando una fuente de energía continua y fiable.

### **4.5.4 Asociación y Cooperación Comunitaria**

*Integración Comunitaria:* La energización comunitaria fomenta la colaboración y cohesión entre los miembros de la comunidad, fortaleciendo las estructuras sociales y promoviendo un desarrollo integral.

*Proyectos Conexos:* La energía disponible facilita la implementación de otros proyectos de desarrollo, como talleres de formación, centros educativos y actividades económicas diversificadas.

La energización comunitaria en las comunidades Wayuu de La Guajira no solo mejora la calidad de vida de sus habitantes, sino que también impulsa el desarrollo económico, social y ambiental, promoviendo una mayor sostenibilidad y resiliencia en la región.

## **4.6 Matriz de ponderación de desarrollo regional**

A continuación, se desarrolla la matriz de ponderación para el desarrollo regional de las comunidades indígenas.

### **4.6.1 Evaluación de Alternativas**

En la *Tabla 3* se muestran los criterios estudiados anteriormente asignando una puntuación a cada una de las alternativas; Para cada criterio.

**Tabla 3.** *Evaluación de alternativas de desarrollo regional*

Criterio	Peso (%)	Soluciones Agrupadas	Soluciones Individuales
Agua Potable	25	5	1
Conservación de alimentos	25	5	3
Elaboración de artesanías	15	4	3
Integración comunitaria	15	4	1
Proyectos conexos	20	5	1

#### 4.7 Identificación de aspectos sociales

La energía es el “combustible” necesario para el crecimiento económico y la mejora del bienestar. Los países donde crece la economía registran también un aumento de su consumo energético. Existen evidencias científicas de que el acceso a la energía eléctrica impulsa el crecimiento económico y progreso humano. Esto se debe a que la disponibilidad de energía tiene un efecto directo sobre la productividad, la salud, la educación, el abastecimiento de agua potable, los servicios de comunicación, y una larga lista de beneficios y servicios (B2B News, 2020):. Actualmente el nivel de desarrollo de un país se mide a través del IDH (Índice de Desarrollo Humano), el cual tiene los siguientes indicadores:

- Expectativa de una vida larga y sana (basada en la esperanza de vida al nacer).
- Educación (basada en la tasa de alfabetización).
- Nivel de vida (medido por el producto interno bruto per cápita).

El consumo de energía eléctrica va relacionado directamente con la calidad de vida de la población, según la “World Energy Outlook” de la Agencia Internacional de la Energía en 2019, la demanda de energía mundial aumentará un 1% anual hasta 2040, donde las fuentes renovables lideradas por la energía solar fotovoltaica suministrarán más de la mitad de este crecimiento.

Uno de los temas pendientes en Colombia es que todas las personas cuenten con energía eléctrica las 24 horas del día, pues en la actualidad hay aproximadamente medio millón de

viviendas que no tienen acceso al servicio o solo cuentan con este durante algunas horas del día. Ante esta problemática, las microrredes se presentan como una alternativa para energizar a la población desconectada. Sin embargo, aún persisten barreras que deben superarse para poder reducir esta cifra lo más cercana a cero. Aumentar la cobertura del servicio de electricidad es, sin duda, una de las tareas pendientes en Colombia. Las microrredes eléctricas pueden constituir una forma de superar esta barrera y activar la economía de las pequeñas comunidades, tanto con la creación de empleos directos como con el suministro de energía a residencias, hospitales o establecimientos comerciales. Gracias a ella también es posible llevar electricidad a personas que carecen de acceso a esta fuente energética (Ministerio de Minas y Energía, 2021).

#### **4.7.1 Las microrredes como dinamizador de las comunidades y la economía local**

Las microrredes actúan como un catalizador para el desarrollo comunitario y económico al proporcionar un suministro eléctrico fiable y sostenible. Esto facilita el acceso a servicios básicos, mejora la calidad de vida, promueve la creación de empleo y el desarrollo de microempresas, y atrae inversiones (Jiménez, 2022). En conjunto, estos beneficios contribuyen significativamente al bienestar y al desarrollo sostenible de las comunidades locales de la siguiente manera:

- ✓ Manteniendo bajo control las tarifas eléctricas gracias a una gestión más eficiente y rentable de la red, un mayor aprovechamiento de la valiosa energía desperdiciada y/o una reducción de las inversiones en capacidad energética adicional o infraestructura de transmisión.
- ✓ Favoreciendo la competitividad de los municipios, ya que éstos pueden ofrecer bajos costes energéticos y elevados niveles de fiabilidad que pueden atraer nuevas empresas y puestos de trabajo, especialmente industrias muy sensibles a los cortes de electricidad (por ejemplo, centros de datos, instalaciones de investigación, etc.).
- ✓ Garantizar la fiabilidad energética de comunidades aisladas o difíciles de abastecer, suministrando energía limpia, fiable y resistente de forma rentable.
- ✓ Constituir una forma ideal de integrar recursos renovables a nivel comunitario y permitir la participación de los clientes en la empresa eléctrica.

En La Guajira, la implementación de energía fotovoltaica ha tenido un impacto significativo en el desarrollo social y económico de la región. La Guajira, con su alto potencial solar, se ha convertido en un lugar ideal para proyectos de energía solar. Los agentes sociales que participan en este proceso incluyen a las comunidades indígenas, el gobierno, organizaciones no gubernamentales (ONG), y empresas privadas.

- ✓ Comunidades indígenas: Muchas comunidades indígenas en La Guajira han adoptado la energía solar para mejorar su calidad de vida. La electrificación a través de paneles solares ha permitido el acceso a servicios básicos como iluminación, refrigeración y comunicación, permitiéndoles tener un papel activo en el desarrollo de sus propios recursos energéticos.
- ✓ Gobierno: El gobierno colombiano ha implementado políticas para fomentar el uso de energías renovables. Programas como el Plan Nacional de Energías Renovables (PNER) buscan aumentar la capacidad instalada de energía solar en el país.
- ✓ Organizaciones No Gubernamentales: Varias ONG trabajan en La Guajira implementando proyectos de energía solar para mejorar las condiciones de vida de las comunidades vulnerables. Estas organizaciones también desempeñan un papel crucial en la educación y sensibilización sobre los beneficios de la energía solar y las prácticas sostenibles.
- ✓ Empresas Privadas: Empresas del sector energético invierten en la construcción de parques solares y otras infraestructuras relacionadas. Estos proyectos no solo generan electricidad, sino que también crean empleo local y contribuyendo al desarrollo sostenible de la región.

Implementar proyectos de micro redes a base de energía fotovoltaica en la Guajira tiene varias implicaciones sociales que favorecen a las comunidades que por tanto tiempo han sido ignoradas por el gobierno y que hoy cuentan con la oportunidad de desarrollo en los siguientes aspectos

**Educación:** La electrificación de escuelas mediante microrredes permite extender las horas de estudio, mejorar las condiciones de aprendizaje y utilizar herramientas educativas como computadoras e internet.

**Salud:** Centros de salud electrificados pueden operar equipos médicos, conservar medicamentos y vacunas, y proporcionar mejores servicios de atención médica.

**Economía:** La electrificación permite la creación y expansión de microempresas que dependen de la electricidad, como tiendas, talleres de reparación, y producción artesanal.

**Empleo:** La implementación, operación y mantenimiento de microrredes generan empleos locales, tanto directos como indirectos.

**Inversión:** Proyectos turísticos y agroindustriales son más viables con un suministro eléctrico constante.

#### 4.8 Matriz de ponderación de aspectos sociales

A continuación, se desarrolla la matriz de ponderación para los aspectos sociales de las comunidades indígenas de la Guájira.

##### 4.8.1 Evaluación de Alternativas

En la Tabla 4 se muestran los criterios estudiados anteriormente asignando una puntuación a cada una de las alternativas.

**Tabla 4.** Evaluación de alternativas sociales

Criterio	Peso (%)	Soluciones Agrupadas	Soluciones Individuales
Educación	30	5	2
Salud	30	5	2
Economía	20	4	1
Empleo	10	3	1
Inversión	10	3	1

#### **4.9 Herramienta de análisis de datos**

Se utiliza una matriz de ponderación como herramienta de presentación de análisis de resultados esto por su capacidad para organizar y clarificar la información. Esta herramienta permite estructurar los datos de manera que se visualicen fácilmente las prioridades y los pesos asignados a cada criterio, lo que facilita la comparación entre diferentes factores. Al asignar pesos específicos a cada criterio basado en su importancia relativa, se promueve un análisis más objetivo y se minimiza la subjetividad, proporcionando transparencia en la evaluación y aumentando la confianza en el proceso y los resultados.

Además, una matriz de ponderación facilita la toma de decisiones informadas al identificar y priorizar claramente los factores más importantes. Su flexibilidad y adaptabilidad permiten ajustes rápidos para reflejar cambios en las prioridades o en la información disponible, lo que la convierte en una herramienta eficiente y dinámica para el análisis y la presentación de resultados.

### **5 ANÁLISIS DE RESULTADOS**

En la Tabla 5 se muestra la matriz de ponderación de aspectos técnicos, de desarrollo regional y sociales, en la cual se identificaron los aspectos más relevantes desde cada componente en relación a los modelos de energización eléctrica. Los aspectos técnicos consideran la eficiencia, la confiabilidad, y la capacidad de integración con la infraestructura existente. En cuanto a los aspectos de desarrollo regional, se analizan el impacto en la economía local, la creación de empleo y la mejora en la calidad de vida de las comunidades. Por último, los aspectos sociales incluyen la aceptación por parte de la comunidad, la equidad en el acceso a la energía y los beneficios ambientales percibidos.

Esta matriz proporciona una visión integral que ayuda a priorizar y tomar decisiones informadas sobre la implementación de diferentes modelos de energización eléctrica, asegurando que se consideren todas las dimensiones críticas para un desarrollo sostenible y equitativo.

para las comunidades del departamento de la Guajira

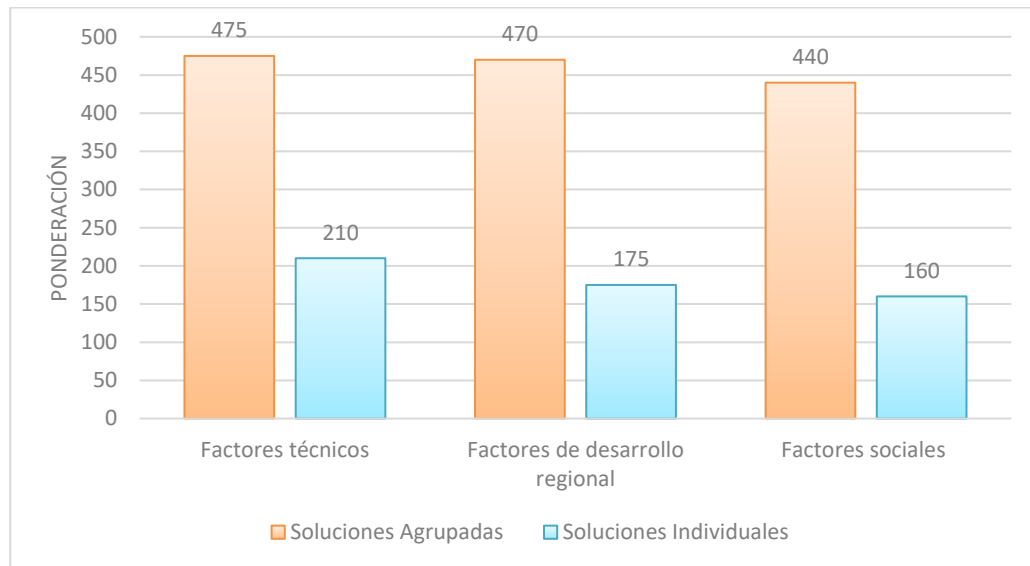
**Tabla 5.** *Cálculo de puntuación ponderada.*

<b>Criterio</b>	<b>Peso (%)</b>	<b>Soluciones Agrupadas</b>	<b>Soluciones Individuales</b>
<b><i>Factores técnicos</i></b>			
Gestión de la Energía y Control Inteligente	20	100	40
Almacenamiento de Energía	15	60	30
Optimización de la Generación	15	75	30
Interconexión y Operación en Modo Isla	15	75	15
Calidad de la Energía	15	75	45
Infraestructura y Mantenimiento	10	40	30
Integración con Tecnologías de Información	10	50	20
<b>Puntuación ponderada</b>	<b>100</b>	<b>475</b>	<b>210</b>
<b><i>Factores de desarrollo regional</i></b>			
Agua Potable	25	125	25
Conservación de alimentos	25	125	75
Elaboración de artesanías	15	60	45
Integración comunitaria	15	60	15
Proyectos conexos	20	100	15
<b>Puntuación ponderada</b>	<b>100</b>	<b>470</b>	<b>175</b>
<b><i>Factores sociales</i></b>			
Educación	30	150	60
Salud	30	150	60
Economía	20	80	20
Empleo	10	30	10
Inversión	10	30	10
<b>Puntuación ponderada</b>	<b>100</b>	<b>440</b>	<b>160</b>

En la figura 11, se muestra los resultados obtenidos en el proceso de ponderación, en este se identifica que las soluciones agrupadas representan una mejor alternativa en todos los aspectos, con índices superiores al 2.5 respecto a las soluciones individuales, de esta manera el cambio de lo modelo de energización que se propone es beneficioso bajo el marco de evaluación de estos aspectos ya que mejora los aspectos técnicos, contribuye en gran medida con el desarrollo regional y tiene un impacto significativo en la calidad de vida de las comunidades.

**Figura 11.**

*Ponderación de los aspectos evaluados.*



*Nota.* Elaboración propia

### **5.1 Ventajas del modelo de energización agrupado respecto al modelo actual.**

Un modelo de energización agrupado se refiere a un esquema de suministro de energía donde múltiples usuarios o sistemas se agrupan para recibir y distribuir energía de manera eficiente. Este enfoque es común en áreas rurales, comunidades aisladas o en proyectos de generación distribuida donde la infraestructura tradicional de energía puede ser insuficiente o ineficiente, ya que la expansión de la cobertura de energía eléctrica viene asociada a una problemática socioeconómica originada por las características particulares de la población rural objetivo. (Unidad de Planeación Minero Energética, 2015)

Los Planes de Energización Rural Sostenible -PERS- son el resultado de un esquema de trabajo regional e interinstitucional con el propósito de unir esfuerzos en búsqueda del fortalecimiento de las regiones, con el liderazgo, en lo posible de las universidades y los profesionales expertos en el tema. Con esta estrategia, se busca garantizar que los proyectos cumplan con los objetivos de sostenibilidad y aprovechamiento de la energía como insumo de producción, para el desarrollo de las comunidades rurales. Algunas de las alternativas que más generan interés para dar una solución de electrificación a las regiones aisladas y que sean

sustentables son las micro redes; pequeñas redes eléctricas locales que pueden operar independientemente dando a las comunidades un acceso a la energía de manera más sustentable y reduciendo la dependencia de los generadores Diesel. (Unidad de Planeación Minero Energética, 2015) Algunos de los principales beneficios del modelo de energización agrupado son:

1. Permiten operaciones más ecológicas al integrar energías renovables en el sitio, como la energía eólica y la energía solar.
2. Ahorran gastos energéticos al optimizar la demanda, almacenar la electricidad y devolverla a la red eléctrica durante las horas de mayor demanda.
3. Mejoran la confiabilidad, al permitir que tus instalaciones continúen recibiendo energía eléctrica durante las interrupciones de red.

Los hallazgos obtenidos en el análisis de resultados son relevantes debido al aporte del modelo de energización agrupado a la problemática de acceso de energía eléctrica en las regiones aisladas no es solamente un tema técnico o de ingeniería, es una solución a los problemas de salud, pobreza, oportunidades, educación, medio ambiente y en otros aspectos. (Organización Latinoamericana de Energía, 2018).

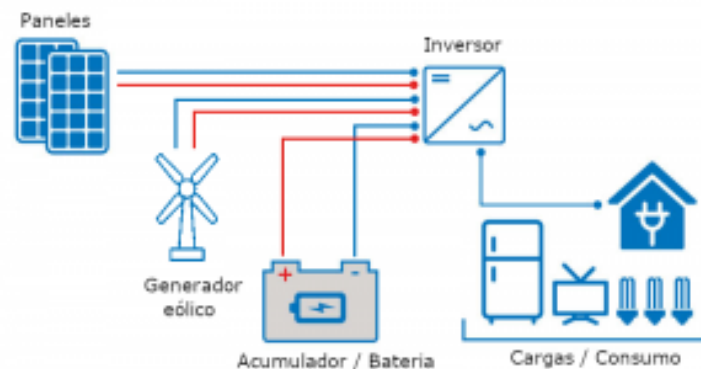
### **5.1.1 Integración con otra fuente de generación**

Los sistemas agrupados tienen una gran ventaja, es la integración con otras fuentes de generación, teniendo en cuenta el potencial eólico de la Guajira, la integración de esta fuente adicional de energía alterna brinda una mayor dinamización en la fuente de generación y ampliar el potencial de generación, así como un funcionamiento 100% con energía renovable 24/7. La energía eólica generalmente es más productiva durante la noche y la energía solar solo produce durante el día, la combinación de ambos recursos permitirá a los desarrolladores de proyectos maximizar la generación de ingresos y la fiabilidad que el sistema eléctrico requiere. Los generadores eólicos o aerogeneradores son utilizados en algunos casos como apoyo en sistemas fotovoltaicos aprovechando la energía del viento en zonas con una velocidad del viento mayor o igual a 5 m/s para una eficiente funcionalidad. Combinar la energía eólica y solar en un mismo sistema es una estrategia eficiente y sostenible para la generación de energía renovable. Este tipo de sistema híbrido aprovecha las ventajas de ambas fuentes, lo que permite una mayor estabilidad

y disponibilidad de energía y un sistema más autónomo aumentando la estabilidad del suministro. (UPME, 2015)

**Figura 12.**

*Integración de un sistema solar con eólico*



*Nota:* Esquema de un sistema eléctrico híbrido utilizado en comunidades no interconectadas. Tomada de (Helio Esfera, 2019)

### 5.1.2 Factores relevantes de la integración de soluciones híbridas

Uno de los factores más atractivos de combinar energía eólica y solar en microrredes es la complementariedad inherente de estas fuentes. La energía solar depende de la radiación solar, lo que significa que su producción de energía durante el día y en los días soleados. La energía eólica, en cambio, es generada por el viento, que es fuerte tanto de día como de noche, o durante las estaciones en las que hay menos radiación solar. Esta complementariedad permite que las microrredes integren ambas fuentes de energía para reducir la intermitencia, que es uno de los mayores desafíos de las energías renovables. Si bien los sistemas solares pueden enfrentar limitaciones durante la noche o en días nublados, la energía eólica puede compensar estas limitaciones y viceversa. Por tanto, la combinación de ambas fuentes garantiza un suministro energético más estable y fiable.

Al proporcionar una fuente de energía local y descentralizada, las microrredes reducen la dependencia de la infraestructura energética tradicional, que a menudo es vulnerable a interrupciones y fluctuaciones. Además, la capacidad de almacenar energía excedente en baterías

## para las comunidades del departamento de la Guajira

u otros sistemas de almacenamiento refuerza aún más la autonomía de la solución agrupada, permitiendo el uso de la energía generada en momentos de baja producción. Algunos de los factores a evaluar sobre la combinación entre solar y eólico es la disponibilidad solar donde Colombia es uno de los países de América que cuenta con mejor radiación solar y el promedio de los días al año con una velocidad del viento adecuada en algunas zonas del país en especial la zona norte como el departamento de La Guajira.

En los últimos años ha habido un creciente interés por las fuentes de energía renovable dejando atrás los combustibles fósiles. La electrónica de potencia es una de las variables que más ha impulsado el control de las fuentes de energía renovable y dado paso al concepto de microrred, tanto aisladas como conectadas al sistema eléctrico nacional. Las microrredes son sistemas de generación eléctrica que integran diversas fuentes de energía renovable para mejorar la fiabilidad del suministro, reducir costos y minimizar la dependencia de redes eléctricas convencionales. Estas microrredes no solo optimizan el uso de energía limpia, sino que también contribuyen a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y garantizan la estabilidad energética. (Medina, 2014)

La implementación de microrredes eólicas y solares puede originar importantes beneficios ambientales. Depender de energías renovables reduce significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes asociados con la quema de combustibles fósiles. Además, el modelo promueve la diversificación de la matriz energética, reduce la vulnerabilidad a las fluctuaciones de los precios de los combustibles fósiles y aumenta la seguridad energética. Desde un punto de vista económico, la introducción de microrredes eólicas-solares supone una reducción significativa de los costos energéticos a largo plazo. Aunque la inversión inicial en infraestructura puede ser alta, los costos de operación y mantenimiento son relativamente bajos, especialmente en comparación con las centrales eléctricas tradicionales. Además, el desarrollo de estas microrredes puede impulsar la economía local al crear empleos en la construcción, operación y mantenimiento de las instalaciones.

Algunas de las ventajas más significativas que conlleva agregar otra fuente de energía como la eólica a las microrredes que inicialmente operaban solo con energía solar son las siguientes:

**Complementariedad:** esto permite que la microrred genere energía de manera más constante a lo largo del día y en diferentes condiciones climáticas.

**Intermitencia:** La combinación de fuentes eólicas y solares ayuda a mitigar la intermitencia inherente a las energías renovables. Si hay poca luz solar, el viento puede proporcionar la energía necesaria, y viceversa, lo que aumenta la fiabilidad y estabilidad del suministro energético en la microrred.

**Uso del espacio:** incluir turbinas eólicas en una microrred solar, se maximiza el uso del espacio disponible. Los parques solares y eólicos pueden coexistir en el mismo terreno, aprovechando áreas que no son óptimas para la instalación de paneles solares (como terrenos elevados o zonas con viento constante) para instalar turbinas.

**Factor económico:** la instalación de turbinas eólicas puede requerir una inversión inicial significativa, la combinación con paneles solares puede resultar en una reducción de costos operativos a largo plazo. Esto se debe a que la microrred puede generar más energía y ser menos dependiente de fuentes externas, reduciendo los costos de energía importada y la necesidad de mantenimiento frecuente.

**Factores ambientales:** la combinación de energía solar y eólica en una microrred reduce la dependencia de combustibles fósiles, disminuyendo las emisiones de gases de efecto invernadero y contribuyendo a la lucha contra el cambio climático. Además, al aprovechar dos fuentes renovables, se promueve un uso más sostenible y equilibrado de los recursos naturales.

## 5.2 Factores relevantes y beneficios del cambio del modelo de energización

Tomando como referencia y punto de partida las necesidades básicas de un hogar colombiano en la prestación del servicio público de energía según, (Ministerio de Minas y Energía, 2004), se establece que la cantidad mínima de electricidad utilizada en un mes por un usuario típico para satisfacer las necesidades básicas es de 173 kWh/mes para alturas inferiores a 1.000 metros sobre el nivel del mar.

Considerando la región de La Guajira, donde se propone esta nueva alternativa de soluciones agrupadas, es aplicable este valor mínimo. Actualmente, las soluciones individuales

entregadas por el gobierno tienen una potencia instalada de entre 0,5 kWp y 1,2 kWp, que aportan aproximadamente 120 kWh/mes en la solución de mayor potencia. Esto representa aproximadamente el 70% de la energía de subsistencia que debe tener un hogar colombiano, lo cual es una desventaja significativa de este sistema.

En contraste, las soluciones agrupadas están diseñadas a la medida y con un factor de crecimiento de las comunidades. Una de sus ventajas es la mayor generación de energía y, al tener una topología de red de interconexión entre todos los usuarios, la energía será consumida en el punto donde se presente la demanda. Esto permite entregar la energía que necesita cada usuario y facilita un control y gestión de la energía de manera eficiente, brindando y abarcando el 100% de las necesidades mínimas de subsistencias estipuladas por el gobierno para hogares que se sitúan por debajo de los 1.000 metros sobre el nivel del mar, donde asociado a este modelo de energización llegan proyectos conexos, como son casetas de potabilización de agua y proyectos productivos que incentivan la integración comunitaria así como un desarrollo social y sostenible en el tiempo.

### **5.3 Recomendaciones prácticas y orientadas a la acción para poner en marcha el modelo de energización agrupado.**

#### **5.3.1 Estudio de agrupación de las viviendas mediante imágenes de alta resolución.**

Un estudio con imágenes de alta resolución permite realizar como primera medida una georreferenciación de los usuarios, así como obtener una visión detallada y precisa del área de interés. Este tipo de estudio es crucial por varias razones:

- i. **Precisión en la localización:** Permite asignar coordenadas exactas a cada punto de la imagen, lo que facilita la localización precisa de características geográficas, infraestructuras, y recursos naturales.
- ii. **Análisis detallado del terreno:** Las imágenes de alta resolución permiten identificar detalles finos en el terreno, como la cobertura vegetal, el tipo de suelo, cuerpos de agua, y cambios en el uso del suelo.

## para las comunidades del departamento de la Guajira

- iii. **Configuración de agrupaciones de las viviendas:** El estudio de las viviendas mediante imágenes permitirá determinar los tipos de agrupaciones de las viviendas de tal manera que desde el inicio del proyecto se contemple esta como una variable crítica y de mayor impacto al momento de plantear la solución energética.
- iv. **Modelos tipo de agrupaciones:** Al identificar los tipos de agrupaciones, se debe desarrollar una tipología basada en su distribución que permita definir modelos estándar. A partir de estos modelos, se selecciona una solución energética adecuada para cada tipología, con el objetivo de que la propuesta sea la más adecuada y responda de manera precisa a las necesidades específicas de la comunidad.
- v. **Toma de decisiones informadas:** Proporciona a los tomadores de decisiones información visual clara y precisa, esencial para planificar intervenciones, desarrollo de infraestructuras, y conservación de recursos.
- vi. **Planeamiento técnico:** El estudio de imágenes satelitales permitirá definir la ubicación el tipo y la solución óptima para la solución energética agrupada, así como revisar los parámetros técnicos de distribución de energía, como la regulación de tensión. Esto garantizará que los usuarios finales dispongan de los niveles adecuados de tensión y corriente necesarios para el funcionamiento eficiente de sus equipos eléctricos.
- vii. **Monitoreo y seguimiento:** Facilita el monitoreo de cambios en el tiempo, lo cual es útil para evaluar el impacto de proyectos, identificar zonas de riesgo, y gestionar recursos de manera eficiente.
- viii. **Integración con otros datos:** Un estudio georreferenciado puede combinarse con datos sociodemográficos, climáticos y económicos, proporcionando un contexto más amplio y permitiendo análisis multidisciplinarios.

### 5.3.2 Tamaño de los sistemas energéticos agrupados

La formulación y estructuración del proyecto energético debe estar enfocada a garantizar el suministro de energía que requiere la comunidad con sus particularidades y condiciones propias. De esta manera se requiere el análisis técnico de los siguientes elementos:

- i. Estudio de capacidad de consumo de las comunidades:** La capacidad de consumo de energía de un hogar puede variar significativamente según varios factores, como el tamaño de la vivienda, el número de habitantes, los electrodomésticos utilizados, y las costumbres de consumo. Sin embargo, en este nuevo modelo se propone hacer un estudio detallado de consumos de los hogares para hacer un despacho eficiente y un dimensionamiento de la solución acorde a la realidad de cada comunidad, dependiendo su ubicación geográfica, sus actividades económicas y la proyección de crecimiento, así como la implantación de proyectos conexos.
- ii. Determinar capacidad de paneles e inversores:** En la elección de equipos es necesarios que se proyecten equipos Tier 1, con marcas que puedan brindar mínimo 5 años de garantía en los equipos para garantizar la operabilidad. Para determinar la capacidad de los paneles solares e inversores necesarios para satisfacer las necesidades energéticas de un hogar, se deben tener en cuenta las dinámicas de consumo, así como el estudio de consumo y proyección de cada comunidad en específica para poder generar unas soluciones tipo, que permitan satisfacer las necesidades la comunidad, proyectando un factor de crecimiento a 5 años.
- iii. Determinar tamaños de conductores:** Para dimensionar adecuadamente los conductores en los sistemas de generación, almacenamiento y distribución, es fundamental considerar varios factores clave: la corriente máxima que circulará a través de los conductores, la distancia de transmisión, la caída de tensión permitida y las normativas eléctricas aplicables. Estos factores son esenciales para garantizar la eficiencia, seguridad y confiabilidad del sistema. La corriente máxima define el tamaño mínimo del conductor para evitar sobrecalentamientos. La distancia de transmisión afecta la caída de tensión, la cual debe mantenerse dentro de límites

## para las comunidades del departamento de la Guajira

aceptables para minimizar las pérdidas de energía. Asimismo, las normativas eléctricas establecen criterios específicos sobre los requisitos de cableado que deben cumplirse para garantizar la seguridad de la instalación y de las personas.

Es esencial utilizar software especializado en el diseño de sistemas energéticos para realizar cálculos y validaciones. Esto no solo asegura que el sistema cumpla con la demanda y los estándares de seguridad, sino que también optimiza su eficiencia, garantizando un funcionamiento óptimo y una vida útil prolongada.

- iv. Determinar capacidad de almacenamiento en baterías:** Determinar la capacidad de almacenamiento en baterías implica un balance entre el consumo de energía, la autonomía requerida y la profundidad de descarga de las baterías, esto en base a la tecnología a utilizar. En este tipo de soluciones se hace recomendación utilizar baterías de litio por su durabilidad y mayor entrega de energía, esto debido a que cuentan con una mayor profundidad de descarga con respecto a baterías que usan otro tipo de materiales y tecnología, deber contar con comunicación y compatibilidad con los inversores y controladores, para garantizar la correcta operación, la estabilidad y durabilidad. Este cálculo es fundamental para asegurar que el sistema energético sea capaz de proporcionar un suministro de energía constante y confiable.

*Determinar los Días de Autonomía Necesarios:* La autonomía se refiere al número de días que las baterías deben ser capaces de suministrar energía sin recibir carga, lo cual es importante en caso de varios días nublados o lluviosos. Un estándar común es diseñar para 1 a 3 días de autonomía, dependiendo del clima y las necesidades energéticas.

*Considerar la Profundidad de Descarga (DoD):* Las baterías tienen una profundidad de descarga recomendada para prolongar su vida útil. Muchas baterías de plomo-ácido recomiendan no descargarse más del 50%, mientras que las baterías de iones de litio pueden tener una DoD del 80% o más. Es importante ajustar la capacidad total de las baterías para reflejar esta limitación.

*Incluir Pérdidas del Sistema:* La eficiencia de carga/descarga de las baterías y del inversor debe tenerse en cuenta, ya que no toda la energía almacenada en las

baterías se puede utilizar, así como las pérdidas por conversión asociadas, entre otras

- v. **Determinar proyección de carga a 5 años para dimensionamiento del sistema:**  
Al dimensionar un sistema de energía, es crucial no solo considerar las necesidades energéticas actuales, sino también anticipar cómo podría cambiar la demanda en los próximos años. Proyectar la carga a 5 años ayuda a garantizar que el sistema sea capaz de manejar el crecimiento en el consumo de energía y permite planificar la escalabilidad del sistema. Anticipar el crecimiento en la demanda energética, se garantiza que el sistema seguirá siendo eficiente, evitando la necesidad de costosas revisiones o rediseños en el futuro. Planificar la escalabilidad desde el principio facilita la integración de nueva capacidad a medida que cambian las necesidades, asegurando así un suministro de energía confiable y adecuado a largo plazo.

### 5.3.3 Esquema de sostenibilidad

Definir un esquema de sostenibilidad de proyectos energéticos agrupados es esencial para asegurar que los beneficios del proyecto perduren a lo largo del tiempo y que se minimicen los impactos negativos sobre el medio ambiente y la comunidad. A continuación, se describen los aspectos clave por lo que es importante desarrollar un esquema de sostenibilidad:

- i. **Longevidad del Proyecto:** Un esquema de sostenibilidad ayuda a garantizar que el proyecto no solo sea viable a corto plazo, sino que también pueda continuar operando de manera efectiva y rentable durante su vida útil.
- ii. **Rentabilidad a Largo Plazo:** Un enfoque sostenible puede reducir costos a largo plazo, como los relacionados con la gestión de residuos, el consumo de recursos, y la mitigación de riesgos, mejorando la rentabilidad del proyecto.
- iii. **Modelos de recaudo:** Se debe establecer un esquema de recaudo adecuado para las comunidades de tal manera que permita racionalizar el consumo de la energía, así como autoapropiación de los activos de la solución energética. Adicional se debe considerar el estudio de los subsidios de energía que otorgan los entes

gubernamentales de tal manera que los procesos de recaudo sean recurrentes y suficientes para garantizar que los sistemas energéticos se mantengan en el tiempo.

- iv. **Monitoreo del sistema:** Dentro del modelo de sostenibilidad se debe plantear monitoreo en tiempo real del sistema de tal manera que los involucrados externos puedan hacer seguimiento continuo del sistema, así como ir realizando los ajustes necesarios para la preservación de la integridad del sistema energético.
- v. **Acceso a mantenimientos:** Se debe considerar que los sistemas requieren tanto mantenimiento preventivo como correctivo. Por lo tanto, es esencial que este tipo de acciones se integren dentro del esquema de sostenibilidad, garantizando que, en caso de necesidad, se disponga del capital necesario para realizar los mantenimientos y asegurar la continuidad de la operación.
- vi. **Beneficios Sociales:** Asegura que el proyecto tenga un impacto positivo en las comunidades locales, mejorando su calidad de vida a través de la generación de empleo, acceso a energía limpia, y otros beneficios sociales.
- vii. **Cumplimiento Normativo:** Ayuda a cumplir con las regulaciones y estándares ambientales y sociales, lo que puede prevenir sanciones legales y mejorar la aceptación pública del proyecto.
- viii. **Acceso a Financiamiento:** Los inversionistas y financiadores están cada vez más interesados en proyectos sostenibles. Un esquema bien desarrollado puede facilitar el acceso a financiamiento y a incentivos económicos.
- ix. **Adaptación al Cambio Climático:** Permite incorporar medidas de resiliencia y adaptación al cambio climático, asegurando que el proyecto pueda enfrentar los desafíos futuros asociados al clima.

#### 5.3.4 Estudio de proyectos conexos a la energía

- i. **Proyectos productivos:** La integración de proyectos productivos con sistemas energéticos desde la etapa de formulación es esencial para maximizar el impacto en la calidad de vida de las comunidades beneficiarias. Al considerar de manera

## para las comunidades del departamento de la Guajira

simultánea las necesidades energéticas y productivas, se puede diseñar una infraestructura energética que no solo brinde acceso a la electricidad, sino que también impulse el desarrollo económico local. Este enfoque permite que la energía suministrada se utilice de manera eficiente para potenciar actividades productivas, como la agricultura, la manufactura o los servicios, que son fundamentales para la autosuficiencia económica y el bienestar de las comunidades. Además, al asegurar que los sistemas energéticos se alineen con las actividades productivas, se fomenta un crecimiento económico sostenido, lo que a su vez mejora el acceso a servicios básicos, educación, salud y otros indicadores clave de desarrollo humano.

Por otro lado, esta integración facilita el apalancamiento financiero de los proyectos durante su etapa de sostenibilidad. Al vincular los proyectos energéticos con iniciativas productivas, se pueden generar ingresos que contribuyan al mantenimiento y expansión de la infraestructura energética. Esto crea un ciclo positivo donde la energía impulsa la productividad, y la productividad asegura los recursos necesarios para la operación continua y la mejora del sistema energético. Adicionalmente, este enfoque puede atraer inversiones y financiamiento externo, ya que los proyectos productivos con un componente energético suelen ser más atractivos para inversionistas interesados en el desarrollo sostenible. En resumen, integrar los proyectos productivos desde el inicio no solo garantiza que las soluciones energéticas sean pertinentes y útiles para la comunidad, sino que también refuerza la viabilidad financiera y la sostenibilidad a largo plazo de los proyectos, contribuyendo a un desarrollo económico y social integral.

- ii. **Programas y proyectos de eficiencia energética:** Implementar programas de educación y capacitación es fundamental para sensibilizar y empoderar a las comunidades en torno a la eficiencia energética y el uso responsable de la energía. Estas iniciativas pueden incluir talleres, campañas de concienciación y formación técnica para usuarios residenciales, comerciales e industriales. Al educar a las personas sobre la importancia de la eficiencia energética, se promueve la adopción de hábitos que reducen el consumo innecesario de energía, como el uso de

## para las comunidades del departamento de la Guajira

electrodomésticos eficientes, la desconexión de equipos en desuso, y la optimización de la iluminación y calefacción. Estos programas también pueden abordar temas como el mantenimiento adecuado de equipos eléctricos, la identificación de oportunidades de ahorro energético en el hogar o en el trabajo, y el impacto ambiental y económico del consumo energético. Además, capacitar a líderes comunitarios y técnicos locales para que puedan apoyar y asesorar a sus comunidades es esencial para asegurar que el conocimiento adquirido sea sostenido y aplicado a largo plazo.

- iii. Proyectos de innovación e integración tecnológica:** La renovación y optimización de infraestructuras energéticas existentes es crucial para reducir las pérdidas de energía y mejorar la eficiencia del suministro. Esto puede incluir la modernización de redes de distribución, la actualización de equipos de transmisión, y la implementación de tecnologías de monitoreo inteligente para detectar y corregir ineficiencias en tiempo real. Asimismo, la instalación de sistemas de gestión de energía en tiempo real permite a las empresas y comunidades identificar patrones de consumo ineficientes y ajustar el uso de energía en consecuencia. Además, mejorar la infraestructura también implica la incorporación de tecnologías más avanzadas y sostenibles, como medidores inteligentes, que no solo optimizan el uso de energía, sino que también permiten a los usuarios monitorear y gestionar su consumo de manera más efectiva. Estas mejoras no solo disminuyen el costo operativo, sino que también aumentan la fiabilidad y resiliencia de los sistemas energéticos, lo que resulta en un suministro más eficiente y sostenible a largo plazo.

## 6 CONCLUSIONES

Los resultados del análisis evidencian que las soluciones agrupadas presentan múltiples ventajas frente a las soluciones individuales, abarcando factores técnicos, de desarrollo regional y sociales. Desde el punto de vista técnico, estas soluciones integran sistemas de control avanzado, respuestas adaptativas a la demanda, diversidad en las fuentes de energía, interconexión de sistemas, mejoras en el mantenimiento e integración con tecnologías IoT. En términos de desarrollo regional, contribuyen significativamente a la mejora de la calidad de vida de las comunidades al promover sistemas de cooperación comunitaria. Por último, desde una perspectiva social, la energía actúa como un dinamizador clave en las economías locales, impulsando áreas como la salud, el empleo y la inversión.

Las soluciones agrupadas mejoran la confiabilidad del suministro energético, integrando energías renovables como la solar y eólica. Esta combinación no solo asegura un suministro constante de energía, sino que también optimiza la utilización de los recursos naturales, reduciendo la intermitencia típica de las fuentes renovables mediante la complementariedad de las fuentes. La energización mediante sistemas agrupados permite la implementación de sistemas más robustos, escalables, con capacidad para soportar sistemas productivos, conservación de productos y alimentos, potabilización de agua y otros proyectos conexos a la energía que permiten la sostenibilidad del modelo, generando proceso de transformación social en las comunidades.

Las microrredes que combinan energía solar y eólica pueden reducir significativamente los costos energéticos a largo plazo y minimizar la dependencia de los combustibles fósiles. Aunque requieren una inversión inicial considerable, los beneficios económicos y ambientales a largo plazo justifican su implementación; la implementación de soluciones agrupadas con energías renovables contribuye a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, promoviendo un uso más sostenible de los recursos naturales y apoyando la lucha contra el cambio climático.

Para implementar exitosamente el modelo de energización agrupado, es fundamental realizar estudios detallados de consumo, georreferenciación, esquemas de sostenibilidad, proyección de carga y proyectos conexos a la energía. Esto permitirá diseñar soluciones energéticas a la medida que satisfagan las necesidades actuales y futuras de las comunidades, asegurando así la sostenibilidad y eficiencia del sistema

El cambio del modelo de energización tradicional a un modelo agrupado para las comunidades de zonas no interconectadas en La Guajira es fundamental para mejorar la eficiencia energética, reducir costos y aumentar la sostenibilidad. Este nuevo enfoque no solo abordaría las deficiencias actuales del suministro de energía, sino que también proporcionaría un acceso más equitativo y confiable a la energía, mejorando la calidad de vida de las comunidades. Para lograr esto, es esencial desarrollar políticas claras que impulsen la inversión en energías renovables, involucrar a las comunidades locales en el proceso de implementación y fomentar la capacitación y colaboración entre diversos actores, asegurando así una transición efectiva y sostenible hacia un modelo de energización agrupado

### Referencias

- Albarakati, A. J., Boujoudar, Y., Azeroual, M., Eliysaouy, L., Kotb, H., Aljarbouh, A., ... & Pupkov, A. (2022). (2022). Microgrid energy management and monitoring systems. *Frontiers in Energy Research*.
- Altin, N., & Eyimaya, S. E. (2021). A review of microgrid control strategies. *In 2021 10th International Conference on Renewable Energy Research and Application (ICRERA)*, pp. 412-417.
- Artesanías de Colombia S.A. - UPME. (19 de 07 de 2024). *Grupos artesanales*. Comunidad Wayúu: [https://artesaniasdecolombia.com.co/PortalAC/C\\_sector/comunidad-wayuu--\\_201](https://artesaniasdecolombia.com.co/PortalAC/C_sector/comunidad-wayuu--_201)
- B2B News. (18 de Febrero de 2020). *Totalenergies*. <https://www.totalenergies.es/es/pymes/blog/la-energia-y-el-desarrollo-de-la-humanidad>
- BBVA. (Enero de 2024). ¿Qué son las comunidades energéticas y cómo funcionan? Bogota, Colombia.
- Camargo, S. d. (2020). *Estudio de viabilidad de la instalación de una microrred de energía de pequeña escala para una población rural en la Guajira*. Universidad de los Andes.
- Cho, C., Jeon, J. H., Kim, J. Y., Kwon, S., Park, K., & Kim, S. (2011). Active synchronizing control of a microgrid. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 3707-3719.
- Colombia. Ministerio de Industrias. (2019). *Ministerio de minas y energia*. <https://repositoriobi.minenergia.gov.co/handle/123456789/2249>
- DANE. (2021). Información sociodemográfica del pueblo Wayúu. *Informes de Estadística sociodemográfica aplicada* (3), 2-50.

## para las comunidades del departamento de la Guajira

- Diseño Eléctrico. (s.f.). *Linkedin*. ¿Cuál es la mejor manera de elegir una topología de microrred para su proyecto?: <https://www.linkedin.com/advice/0/what-best-way-choose-microgrid-topology-your?lang=es&originalSubdomain=es>
- FISE. (2 de Mayo de 2019). *FISE*. <https://fise.co/noticias/colombia-y-su-gran-potencial-para-la-energia-solar/>
- Georgious, R., Refaat, R., Garcia, J., & Daoud, A. A. (2021). Review on energy storage systems in microgrids. *Electronics*, 2134, 10-17.
- Helio Esfera. (2019). *Helio Esfera*. <https://www.helioesfera.com/instalacion-fotovoltaica-aislada/>
- Hoz, M. d., Jesús, Y. d., Pérez, B., & Ángel, K. (2021). *Prefactibilidad de un sistema solar fotovoltaica para uso alternativo de energización en la subregión alta del departamento de La Guajira*. Universidad Antonio Nariño.
- IPSE. (2023). En el primer año del Gobierno del Cambio, el IPSE creó un modelo de energización pensado en las comunidades y entregó por primera vez energía a 550 usuarios en La Guajira: <https://ipse.gov.co/blog/2023/08/22/en-el-primer-ano-del-gobierno-del-cambio-el-ipse-creo-un-modelo-de-energizacion-pensado-en-las-comunidades-y-entrego-por-primera-vez-energia-a-550-usuarios-en-la-guajira/>
- IPSE. (Agosto de 2023). En el primer año del Gobierno del Cambio, el IPSE creó un modelo de energización pensado en las comunidades y entregó por primera vez energía a 550 usuarios en La Guajira. Bogota, Colombia, Colombia.
- IPSE. (2024). Adjudicado el proyecto que permite energizar a más de mil hogares en Uribia, La Guajira. *IPSE*. Adjudicado el proyecto que permite energizar a más de mil hogares en Uribia, La Guajira: <https://ipse.gov.co/blog/2023/09/07/adjudicado-el-proyecto-que-permite-energizar-a-mas-de-mil-hogares-en-uribia-la-guajira/>

Jiménez, G. (Julio de 2022). *Revista Contacto*.

<https://revistacontacto.uniandes.edu.co/especial/las-microrredes-una-solucion-para-cerrar-las-brechas-de-acceso-a-la-electricidad/>

Keisang, K., Bader, T., & Samikannu, R. (2021). Review of operation and maintenance methodologies for solar photovoltaic microgrids. *Frontiers in Energy Research*.

López, A. R., Muñoz, A. P., Samboni, L. B., & Valencia, F. R. (2019). *Caracterización pueblos indiegas Wayuú, gente de arena, sol y viento*. Procuraduría General de la Nación .

Marín Torres, J. R., Valencia Llanos, J. A., & Insuasti Avendaño, J. D. (2022). Marco regulatorio colombiano referente a ZNI y fuentes renovables de energía eléctrica . *Mundo Electrico* , 135, 41-49.

Medina, R. (2014). Microrredes basadas en Electrónica de Potencia: Características, Operación y Estabilidad. *Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología*, 15-23.

Ministerio de Minas y Energía. (16 de 07 de 2004). *Alcaldía de Bogota*. Resolución 355 de 2004  
Ministerio de Minas y Energía:  
<https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=14315>

Ministerio de Minas y Energía. (2021). *Ministerio de Minas y Energía*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.minenergia.gov.co/documents/5856/TRANSICION\_ENERGETICA\_COLOMBIA\_BID-MINENERGIA-2403.pdf

NREL. (2021). *Microgrid Controls*. <https://www.nrel.gov/grid/microgrid-controls.html>

Ojeda, E., Candelo, J., & Ortega, S. (2017). Perspectivas de Comunidades Indígenas de la Guajira frente al desarrollo sostenible y el abastecimiento energético . *Espacios*, 38, 25.

- Organización Latinoamericana de Energía. (Septiembre de 2018). chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfefindmkaj/https://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/old0449.pdf
- Posada, D. C. (2021). *Portafolio de proyectos para soluciones de energía eléctrica en comunidades Wayúu en la alta y media Guajira*. Universidad de los Andes.
- Quijano, N., Pedraza, A., Velásquez, M., Estévez, G. J., Cadena, Á., Becerra, J. M., & Ramírez, Á. (2019). MICRORREDES AISLADAS EN LA GUAJIRA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN. *Revista de ingeniería*, 48, 54-65.
- Sepasi, S., Talichet, C., & Pramanik, A. S. (2023). Power quality in microgrids: a critical review of fundamentals, standards, and case studies. *IEEE Access*.
- Silva, C. P. (2004). Roles y estrategias de los gobiernos indígenas en el sistema de salud colombiano. *Revista colombiana de antropología*, 40, 85-121.
- Smith, M., & Ton, D. (2013). The us department of energy microgrid initiative. *IEEE Power and Energy magazine*, 22-27.
- Solargis. (2021). *Solargis*. <https://solargis.com/es/resources/free-maps-and-gis-data>
- Superservicios, S. (2017). *Zonas no interconectadas -ZNI Diagnóstico de la prestación del servicio de energía eléctrica 2017*.
- Unidad de Planeación Minero Energética. (Junio de 2015). *UPME*. [http://www.upme.gov.co/Zni/documentos/Guia\\_para\\_la\\_elaboracion\\_de\\_PERS.pdf](http://www.upme.gov.co/Zni/documentos/Guia_para_la_elaboracion_de_PERS.pdf)
- UPME. (2015). *UPME*. [https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/INTEGRACION\\_ENERGIAS\\_RENOVABLES\\_WEB.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVABLES_WEB.pdf)

Ustun, T. S. (2016). Interoperability and interchangeability for microgrid protection systems using IEC 61850 standard. *IEEE international conference on power and energy*.

Vega Araújo, J., & Muñoz Cabré, M. (2023). *Energía solar y eólica en colombia: panorama y resumen de políticas 2022*. [https://www.sei.org/publications/energia-solar-eolica\\_colombia-2022/](https://www.sei.org/publications/energia-solar-eolica_colombia-2022/)