

POTENCIAL DE IMPLEMENTACIÓN DE MICRORREDES ENERGÉTICAS EN CUBA

Por Dr. C. Roberto Sosa Cáceres*, M. Sc. Enrique Viant Garrido**, Ing. Ariel Rodríguez Rosales ***, Dr. C. Alfredo Curbelo Alonso**** y Lic. Manuel Álvarez González*****

Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía (Cubaenergía), La Habana, Cuba.

* <https://orcid.org/0000-0003-4856-2443>

E-mail: rsosa@cubaenergia.cu

** <https://orcid.org/0009-0008-8936-4965>

E-mail: eviant@cubaenergia.cu

*** <https://orcid.org/0000-0002-9306-5860>

E-mail: rosales@cubaenergia.cu

**** <https://orcid.org/0000-0003-2672-6881>

E-mail: acurbelo@cubaenergia.cu

*****Autor independiente

Resumen

En términos de gestión, transmisión y uso de la energía está ocurriendo un cambio de paradigma a nivel internacional donde se integran tecnologías de la información y la comunicación en la generación, transmisión, distribución y consumo de este recurso a todos los niveles. El problema a resolver, en el caso Cuba, es contribuir con una mayor eficiencia energética, independencia y seguridad del servicio en el Sistema Electroenergético Nacional (SEN) creando su estructura nacional a través de microrredes.

El estudio evalúa las oportunidades de introducción de microrredes energéticas con fuentes renovables de energía (FRE) en las condiciones de Cuba; identifica las potenciales para la proyección de esta tecnología en comunidades aisladas del SEN en las cinco provincias orientales del país a través de la caracterización de estas zonas y la aplicación de una metodología que determina la factibilidad de un proyecto de microrred en estos territorios.

Palabras clave: microrredes energéticas, potencial de implementación, energías renovables.

POTENTIAL FOR IMPLEMENTATION OF MICRO ENERGY NETWORKS IN CUBA

Abstract

In terms of energy management, transmission and use, a paradigm shift is taking place at the international level where information and communication technologies are integrated into the generation, transmission, distribution and consumption of this resource at all levels. The problem to be solved, in the case of Cuba, is to contribute to greater energy efficiency, independence and security of service in the National Electro-Energy System (SEN) by creating its national structure through microgrids.

The study evaluates the opportunities for the introduction of energy microgrids with renewable energy sources (RES) in Cuban conditions; it identifies the potentials for the projection of this technology in isolated communities of the SEN in the five eastern provinces of the country through the characterisation of these areas and the application of a methodology that determines the feasibility of a microgrid project in these territories.

Keywords: energy microgrids, implementation potential, renewable energies.

I. Introducción

En términos de gestión, transmisión y uso de la energía está ocurriendo un cambio de paradigma a nivel internacional donde se integran tecnologías de la información y la comunicación en la generación, transmisión, distribución y consumo de este recurso a todos los niveles.

En la actualidad, están apareciendo nuevos conceptos que integran el suministro de electricidad, calor y agua para ofrecer una gestión completa de la energía y soluciones de servicio novedosas. Los vehículos eléctricos, además de los bancos de baterías utilizados como dispositivos de almacenamiento de la electricidad, completan la visión de un internet de la energía. El problema a resolver, en el caso Cuba, es contribuir con una mayor eficiencia energética, independencia y seguridad del servicio en el Sistema Electroenergético Nacional (SEN) creando su estructura nacional a través de microrredes que comprendan, no solo las fuentes renovables de energía (FRE), sino también las fuentes convencionales.

El estudio tiene por objetivo general: evaluar las oportunidades de introducción de microrredes en las condiciones de Cuba. Objetivo específico la identificación de potenciales en las cinco provincias orientales.

Como resultado se obtuvo un censo actualizado de las comunidades aisladas del SEN con datos demográficos, técnicos y de fuentes renovables de energía, entre otros. Esta base de datos servirá para implementar proyectos de mejoramiento del servicio eléctrico con FRE sin aumentar el consumo de combustibles fósiles, ni la contaminación ambiental.

II. Materiales y métodos

Expertos en proyectos de energías renovables, elaboraron la encuesta *Ficha de comunidad no conectada a la red eléctrica nacional*, la cual se aplicó en las cinco provincias seleccionadas para este trabajo: Las Tunas, Holguín, Granma, Santiago de Cuba y Guantánamo.

Ficha de comunidad no conectada a la red eléctrica nacional

a) Identificación:

- Nombre de la comunidad:
- Consejo Popular:
- Municipio:
- Provincia:
- Coordenadas geográficas:

b) Caracterización:

- Número de viviendas:
- Número de habitantes:

Actividades económicas predominantes: _____

c) Acceso a la electricidad:

- Horas diarias con servicio eléctrico: _____
- Fuente de generación eléctrica:
 - Grupo electrógeno diésel:
Sí: ____ potencia (kW): _____ No: ____
 - Sistema solar fotovoltaico (SSFV):
Sí: ____ No: ____
 - SSFV individual por vivienda: ____ potencia (kW): _____
 - Centralizado: ____ potencia (kW): _____
 - Hidroenergía: ____ potencia (kW): _____
 - Otro:

d) Posibilidades de conexión a la red eléctrica:

- Corto plazo (en 1 o 2 años): Sí: ____ No: ____
- Mediano plazo (de 3 a 6 años): Sí: ____ No: ____
- Largo plazo (más de 6 años): Sí: ____ No: ____

e) Sobre la Red de Distribución Interna (RDI) de electricidad:

- Existe Red de Distribución Interna (RDI):
Sí: ____ No: ____
- Estado de la RDI:
Bueno ____ Regular ____ Malo ____
Falta de mantenimiento ____
- Existencia de metros contadores de electricidad:
Sí: ____ No: ____
- Existencia de bombas de agua para pozos.
Sí: ____ No: ____
- Tipo (si hubiera): _____
- Distancia de la RDI al Sistema Electroenergético Nacional (SEN): _____ km

f) Demanda de energía eléctrica:

- Máxima demanda de energía eléctrica: _____ kW
- Consumo de energía eléctrica:
_____ kW/h/mes; _____ kW/h/día
- Consumo de diésel del grupo electrógeno: _____ L/mes; _____ L/día

g) Posibles fuentes renovables de energía para la electrificación:

- Arroyos de montaña: ____
- Biomasa forestal: ____
- Biogás (por la cría de ganado en cuartones): ____
- Residuos agroindustriales: ____

h) Superficie disponible para sistemas solares fotovoltaicos (SSFV) en terrenos de no interés para la agricultura o techos: _____ m²**i) Fecha de elaboración: _____****j) Elaborada por** (nombre y apellidos, institución, teléfono, e-mail):

III. Resultados

Resultado 1: Caracterización de las comunidades aisladas del Sistema Electroenergético Nacional.

Tabla 1. Caracterización de las comunidades aisladas del Sistema Electroenergético Nacional en la provincia Holguín

No.	Municipio	SSFV	Grupo electrógeno	Hidroeléctrica	Sin conexión	Comunidades aisladas
1	Gibara	15				15
2	Freyre	44	17			61
3	Banes	20	20	1		41
4	Antilla	17				17
5	Báguano	27	6		1	34
6	Holguín	10	1			11
7	Calixto García	34				34
8	Cacocum	10	11			21
9	Urbano Noris	30	2			32

10	Cueto	22	1		23
11	Mayarí	28	12	2	42
12	Frank País	15	12	1	28
13	Sagua de Tánamo	41	16		57
14	Moa	2	2	1	5
Total		315	100	5	421

*SSFV: Sistema solar fotovoltaico

Según reporta el Centro de Información y Gestión Tecnológica (Ciget) de Holguín, existen inconvenientes en la obtención de los datos de la investigación, y a nuestro criterio, en lo adelante será aún más complejo dada la gran cantidad de comunidades identificadas, sobre todo las conectadas a SSFV, que incluyen varias viviendas aisladas en zonas de difícil acceso. Este criterio se basa en la información brindada a esta investigación por los organismos antes mencionados, lo cual indica que se deben buscar otras alternativas.

Igualmente, una posible vía para obtener información sobre la cantidad de habitantes, actividad económica que realizan, consejos populares al que pertenecen y la superficie disponible para SSFV, son los supervisores de los grupos electrógenos en los municipios.

Tabla 2. Caracterización de las comunidades aisladas del Sistema Electroenergético Nacional en la provincia Santiago de Cuba

No.	Municipio	Comunidades aisladas
1	Santiago de Cuba	17
2	Songo La Maya	7
3	San Luis	33
4	Segundo Frente	9
5	Palma Soriano	5
6	Contramaestre	1
7	Guama	15
8	Tercer Frente	3
Total		90

Tabla 3. Caracterización de las comunidades aisladas del Sistema Electroenergético Nacional en la provincia Guantánamo

No.	Municipio	Comunidades aisladas
1	Manuel Tames	29
2	Baracoa	14
3	El Salvador	21
4	Niceto Pérez	4
5	Imías	13
6	San Antonio del Sur	14
7	Maisí	8
Total		103

Resultado 2: Se elaboró una metodología para determinar si en una comunidad aislada resulta factible proyectar una microrred.

1. Identificación de la Comunidad

1.1. Necesidad social de implementar una microrred en la comunidad Normalmente son los investigadores, especialistas, dirigentes o funcionarios nacionales, provinciales o locales los que llevan la iniciativa de crear, en determinada localidad, una microrred energética. Ellos conocen las ventajas técnicas, económicas y ambientales de estos sistemas, disponen de mayor acceso a la información sobre los lugares donde el servicio eléctrico o energético pudiera mejorarse y sienten la necesidad de implementar proyectos que mejoren significativamente las condiciones de vida en estas comunidades.

Otro aspecto netamente profesional y legítimo, es que, al tiempo que se mejoran las condiciones de vida, existe la necesidad de probar tecnologías modernas relacionadas con la automatización e informatización de los procesos energéticos y sistemas de fuentes renovables de energía. Esto resulta importante para el desarrollo de habilidades y experiencias en esta temática, que a todas luces se generalizará en los próximos años.

1.2. Presentación de la idea del proyecto y aceptación de los habitantes para implementar y mantener una microrred

Todo lo anteriormente expresado, resulta suficiente para establecer una microrred, sin embargo, la realidad ha demostrado que si los habitantes no desean un proyecto de FRE o de microrred electroenergética, serán en vano los recursos empleados. Por lo tanto, desde las primeras acciones es deber involucrar activamente a los líderes de la comunidad para que se conviertan en actores de ese cambio.

2. Toma de los datos generales de la comunidad

2.1. Censar la cantidad de viviendas

La toma de datos deberá realizarse en forma de planilla y acorde al Anexo 1 para obtener una mejor organización en los resultados.

El censo para obtener la cantidad de viviendas en la comunidad deberá ser lo más actualizado posible, incluyendo la planificación de su crecimiento a mediano plazo. Hay que tener en cuenta que el diseño de la microrred, aunque se planifique con al menos un 20 % de reserva en la demanda eléctrica o energética, tampoco podría ser superior a un crecimiento ilimitado. Hasta el momento en Cuba, las viviendas en comunidades aisladas varían de 12 hasta 90 viviendas.

El número de casas, instalaciones sociales, económicas o culturales, tendrá una relación directa con los gastos en infraestructura como postes, líneas eléctricas, aisladores, desconectivos, transformadores, etc.

2.2. Censar la cantidad de personas por vivienda y en la comunidad

Durante la ejecución de otros proyectos se han realizado estudios sobre la cantidad de personas en las zonas rurales cubanas, donde habitan cuatro personas por vivienda.

Aunque se asume que la cifra puede no haber variado, se tendrá en cuenta la actualización de este dato por su asociación al consumo energético-doméstico.

3. Determinar la demanda eléctrica o energética de la comunidad

3.1. Censar la cantidad de equipos electrodomésticos y la demanda energética por vivienda

Censar la cantidad de equipos electrodomésticos, su potencia eléctrica y sus horarios de uso, permitirá conocer la potencia eléctrica instalada y sus características, necesarias para determinar la demanda eléctrica y sus horarios correspondientes. De igual forma, se consideran en el estudio, cuál es el uso de la energía: si es para cocinar, alumbrarse, usar la ventilación, el aire acondicionado, o para calentar agua.

3.2. Censar el equipamiento electroenergético instalado en objetos sociales o económicos de la comunidad

El objetivo de este acápite es bastante similar al 2.1. Se tendrá en cuenta todo el equipamiento, incluyendo los grupos electrógenos, el tipo y la cantidad de combustible que utilizan, su eficiencia y los horarios de trabajo.

4. Caracterización de la red existente en la comunidad y las acometidas eléctricas en las viviendas y demás objetos sociales y económicos que la componen

4.1. Estado técnico de la red local

Por lo general, las comunidades aisladas tienen algún tipo de red rústica, hecha con materiales de uso e instalados en mal estado, lo que provoca caídas de tensión y pérdida de la calidad en el servicio eléctrico brindado a los últimos usuarios de la red, de modo que casi nunca se cumplen las normativas eléctricas. En este sentido, se enumeran los cables que no tienen el diámetro necesario, así como postes y aisladores.

4.2. Distancia de la red local al Sistema Eléctrico Nacional

Desde el punto de vista eléctrico-ingenieril, las distancias son claves para calcular diámetros de conductores, apoyos, postes, bajantes y otros elementos.

También hay que tener en cuenta la distancia más cercana al SEN y las perspectivas de conexión al mismo para planificaciones de desarrollo futuro.

4.3. Caracterización de la infraestructura local, caminos y accesos

Para el cálculo de los gastos en la proyección de la nueva microrred, se tendrán en cuenta factores geográficos para desarrollar la infraestructura local como caminos, accesos, tipo de suelo, fuentes de agua, etc. Sin estos datos no se podrán realizar los proyectos para emplazar bases para los equipos de FRE, postes de transmisión de energía eléctrica, etc.

5. Identificación de las fuentes renovables de energía locales y sus potenciales energéticos

Uno de los pasos más importantes será identificar los potenciales existentes de FRE. Sin un cálculo probado de estos potenciales, no es válida la implementación de una microrred. Las FRE más comunes suelen ser:

- Solar fotovoltaica (SFV): En Cuba, la radiación solar alcanza a toda la superficie nacional con una alta intensidad, una media de 5 kW/m² (Bérriz y Álvarez, 2016).
- Solar térmica: El uso de esta tecnología y su desarrollo en nuestro país con la puesta en marcha de algunas industrias de fabricación, permiten sin dudas utilizarla para calentar el agua. Es común, a pesar del verano, el uso de agua tibia o caliente para el aseo personal. Otra de las aplicaciones importantes es la del secado de productos agrícolas, tanto para la alimentación humana como animal.
- Biomasa: Entre las biomásas podemos citar los residuos forestales y el aserrín que sirven para generar energía a través de la gasificación. Aquí se incluyen otros residuos agroforestales como la cascarilla de arroz, tecnología que ha despertado interés a partir de experiencias exitosas como la de la planta de gasificación del molino secador de arroz de Los Palacios en Pinar del Río.
- Otra de las biomásas son los residuos o aguas residuales orgánicas provenientes de la industria agroalimentaria, como son las aguas residuales de las ganaderías porcina, vacuna y avícola. Como se puede apreciar en las tablas 4 y 5 los volúmenes de residuos y potenciales energéticos no son nada despreciables.

Tabla 4. Volumen de excreta por pesos vivos y especie

Especie	Cantidad diaria de estiércol		Orina	Material de fermentación (%)
	Peso aproximado (kg)	Peso vivo (%)	Peso vivo (%)	SVT
Cerdos	2 a 2,5	2,5	3	12
Vacunos	8	5	4	13
Pollos	0,08	4,5	-	16
Humanos	0,5	1	2	15

*SVT: Sólidos Volátiles Totales

Tabla 5. Degradación de la materia orgánica en procesos anaerobios con la consecuente formación de biogás (Curbelo et al., 2018; Arispe et al., 1992)

Sustrato	Rango de producción de biogás de SVT (L/ kg)	Promedio de producción de biogás de SVT (L/ kg)
Excreta de cerdo	340-550	450
Excreta de vacuno	150-350	250
Excreta de pollo	310-620	460

*SVT: Sólidos Volátiles Totales

Teniendo en cuenta las tendencias internacionales sobre el uso de este tipo de residuos, no habría que desechar las excretas humanas, que aportan tanto biogás y fertilizante orgánico como las de porcino.

- Energía eólica: Depende de las condiciones locales de velocidad del viento. No obstante, es necesario puntualizar que los aerogeneradores modernos permiten ser instalados en lugares con menos velocidad del viento. En este contexto, se tuvieron en cuenta las pequeñas máquinas, aerogeneradores de hasta 200 kW, que son las más utilizadas en regiones aisladas (Moreno *et. al.*, 2012).
- Hidroenergía: Cuba no dispone de suficientes ríos caudalosos u otros recursos hídricos para generar electricidad, además de considerar los periodos de seca. Sin embargo, muchas comunidades en zonas aisladas han sido beneficiadas con la instalación de microestaciones hidráulicas en pequeños arroyuelos montañosos. De este modo, de existir este recurso, se tendrá en cuenta como FRE posible a emplear.
- Uso de baterías: Para garantizar un servicio estable y de calidad durante las 24 horas, la microrred podría incluir el uso de baterías como almacenamiento de electricidad. Existen varios tipos de baterías como las de plomo-ácido, las de hidróxido de potasio (KOH) y otras más recientes, aunque muy caras, como las de litio.



Fig.1. Demanda eléctrica de la comunidad Guasasa, provincia de Matanzas (Rodríguez, 2019).

5.1. Cálculo del potencial de energía de cada una de las FRE identificadas

Una vez identificadas las FRE disponibles en la localidad, se procede a calcular el potencial energético en cada una de ellas. Estos cálculos deberán ser realizados teniendo en cuenta la potencia de generación y los horarios de funcionamiento o disponibilidad.

6. Secuencia de entrada y salida de las diferentes fuentes de generación a la microrred

El orden o secuencia de entrada y salida de las diferentes fuentes de generación a la microrred, dependerá del costo del kW/h de cada una y de los horarios de disponibilidad de generación. Este aspecto tiene un importante valor de uso para la programación de los sistemas de control automático de las microrredes. Para ello, tomamos como ejemplo el Proyecto Guasasa.

Se prevé que el régimen de operación de la microrred sea el siguiente:

- En el horario de 10 p.m. a 6 a.m. la electricidad se entregará por un banco de baterías.
- En el horario diurno se podrá compensar el déficit de generación puntual hasta disminuir su carga al 70 % de su capacidad nominal.
- Este banco se cargará a través de las fuentes renovables de generación de la microrred durante el día y, en caso de necesidad, con este fin se utilizará el grupo diésel.
- La planta de gasificación de biomasa operará durante 8 horas diarias en el turno de 6 a.m. a las 2:00 p.m.
- La planta fotovoltaica generará según el horario de radiación solar que varía al cambiar las estaciones del año.
- El aerogenerador entregará directamente a la microrred de acuerdo a la disponibilidad de viento en el área.
- El grupo diesel existente operará de manera puntual para cubrir el déficit de generación eléctrica de las otras fuentes.

El uso del banco de baterías en el horario nocturno permitirá simplificar la operación de la planta con solo dos turnos de operación de 8 horas cada uno y su capacidad de almacenamiento se corresponde con el consumo de electricidad entre las 10 p.m. y las 6 a.m., que se estima en 109 kWh.

6.1. Cálculo del costo de generación de la energía eléctrica a producir por cada FRE

A continuación se calcula el costo de generación de la energía eléctrica a producir por cada FRE. Para esto se tendrán en cuenta los precios locales de los equipamientos, tecnologías, obras inducidas y cualquier otro gasto asociado a la instalación, puesta en marcha y operación del sistema.

6.2 Cálculos del costo general de la microrred

El costo general de la microrred está integrado por los costos del equipamiento, la transportación, los de opera-

ción y mantenimiento y piezas de repuesto de toda la tecnología. Se incluirán los costos de obras inducidas.

7. Diseño de la microrred. Selección del equipamiento

Prácticamente, cada microrred es diferente atendiendo a sus condiciones, potencialidades de FRE y otros factores. El equipamiento seleccionado deberá ser el de mejor calidad dentro de los precios posibles. Se tendrán en cuenta las condiciones de tropicalización y las normas eléctricas cubanas vigentes como la NC 365: 2011 Tensiones de normalizadas y la NC 800-1: 2011.

Por otra parte, existe una gran variedad de equipamientos y tecnologías, por lo que la selección deberá ser realizada por personal técnico especializado con experiencias en proyectos anteriores.

7.1. Características eléctricas del equipamiento

Se deberán tener en cuenta las características de nuestras redes eléctricas, 110 V y 220 V AC a 60 Hz para sistemas monofásicos. Para sistemas trifásicos los voltajes podrían ser de 220 V, 440 V y 13,8 kV.

Otro aspecto para el análisis será el índice de protección (IP) de los equipos que a su vez se verá más o menos favorecido en dependencia de las condiciones ambientales del lugar y del país, como por ejemplo la humedad relativa $\geq 90\%$, los niveles de polvo, los máximos de temperatura, etc.

7.2. Condiciones meteorológicas y ambientales para emplazar el equipamiento

Para emplazar el equipamiento se tendrán en cuenta las condiciones locales como velocidad del viento, salinidad y radiación solar.

8. Identificación y gestión de fondos financieros disponibles para la construcción, operación y mantenimiento de la microrred

Por las características de este tipo de proyectos, que son generalmente de protección al medioambiente, sostenibilidad alimentaria y mejoramiento de las condiciones sociales, resultan relativamente elegibles por los organismos y programas internacionales de las Naciones Unidas.

Aunque es frecuente que se comience la gestión de estas instalaciones con los fondos identificados, también podría ser que, a pesar de existir el interés comunitario, no se disponga de dichos recursos. En ese caso, y sobre todo cuando prevalezca la necesidad social y económica, se deberá insistir en la búsqueda de los fondos, conociendo que, con una mayor independencia económica y de desarrollo municipal, es posible solicitar la planificación de los mismos.

9. Sostenibilidad de la microrred

Para garantizar la sostenibilidad de la microrred es imprescindible:

- El deseo unánime de la instalación y funcionamiento de una microrred para satisfacer las necesidades económicas y sociales de los pobladores.
- Una correcta y periódica capacitación del personal a cargo.

- La planificación de los fondos necesarios para el mantenimiento y operación.
- La selección de un responsable que solucione los problemas técnicos y organizativos que pudiera ocurrir y atiende con diligencia su funcionamiento.

10. Correr los datos colectados a través del programa HOMER

Normalmente, los expertos utilizan el Modelo de Optimización HOMER (Homer Energy, LLC, 2020) para calcular todas las posibilidades técnicas de las microrredes a partir de los datos disponibles, sin embargo, los aspectos sociales o de aceptación no se analizan la mayoría de las veces.

De realizar un buen trabajo en la selección del personal y del lugar, tomando en consideración los aspectos culturales y socioeconómicos de este último, dependerá el éxito o fracaso del proyecto, aspecto que diferencia a esta metodología de otras.

11. Caracterización social de la comunidad, grado cultural y de preparación técnica de los habitantes

Resulta esencial la preparación del personal encargado de operar y mantener los equipos y la tecnología; como norma, estos trabajos deberán ser asumidos por habitantes cercanos.

El grado de escolarización en Cuba es alto, también el de preparación media y profesional, Por lo tanto no deberá ser difícil encontrar el personal adecuado para estas tareas. Sin embargo, algunas operaciones muy específicas de control o automatización, al inicio del proyecto, deberán ejecutarse por personal calificado, aspecto necesario en la selección del equipamiento, partiendo de la inexistencia en el país de un abastecimiento de piezas y partes acorde a la demanda.

Como principio se deberá tener el concepto siguiente: Mientras más robusta, sencilla y fácil de operar sea la tecnología, mejor.

12. Descripción de las particularidades de género y grupos etarios en la comunidad

Otros de los aspectos a tener en cuenta en casi todos los proyectos de desarrollo social, técnico o energético son los relacionados al género y este. Las especificidades de la comunidad en cuanto a género y grupos etarios son importantes.

El empoderamiento de las mujeres hacia estas tecnologías resulta imprescindible, pues sin su comprensión, apoyo y participación directa no se tendrá el éxito esperado. Hoy día las mujeres son mayoría en muchas actividades, incluyendo la administración o dirección de comunidades, y su influencia en cualquier actividad o sector de la vida cotidiana es decisiva. Por lo tanto, se deberá censar la cantidad de hombres y mujeres, su preparación cultural y la disposición de las féminas para ocupar puestos de trabajo en la microrred.

Con igual rigor hay que tomar los datos poblacionales y tener en cuenta la cantidad de jóvenes que podrían garantizar el funcionamiento estable y sostenible de las instalaciones.

13. Aspectos ambientales de la microrred

Por ningún motivo la implementación de una microrred deberá provocar problemas de contaminación o daño ambiental. Por el contrario, una de sus ventajas más significativas es que resolverá las necesidades energéticas y sociales sin talar bosques, reducir biodiversidad, ni emitir sustancias ni ruidos perturbadores al ambiente. Desde su concepción se enfrentará a las negativas de las organizaciones regulatorias locales o nacionales.

13.1. Impacto ambiental. CO₂ dejado de emitir

Uno de las características más positivas de estos proyectos será el impacto ambiental y el CO₂ dejado de emitir por la generación de energía mediante FRE y por la sustitución de la energía convencional, dígame combustibles fósiles como el diésel o los kWh dejados de consumir del SEN.

14. Impacto social en la comunidad

El impacto social en la comunidad deberá ser igualmente positivo, lo que estará claramente visible por el incremento de puestos de trabajo de calidad, donde se incluyen a mujeres y jóvenes. Es de vital importancia garantizar la retención de estos últimos como garantía de la sostenibilidad de la microrred.

15. Evaluación económica

Para conocer la posibilidad de implementar una microrred se deberá realizar una evaluación económica, donde a través de los cálculos se llegue a la conclusión de que el costo de la energía será menor o igual al del SEN.

16. Impacto económico y social en la comunidad por la implementación de una microrred

Entre las actividades recomendadas están los estudios de impacto económico y social que tuvo la implementación de la microrred. Los aspectos positivos servirán no solo para el reconocimiento social dentro y fuera de la comunidad, si no para reproducir estas experiencias en otras zonas similares.

17. Formación de capacidades en la comunidad para garantizar el funcionamiento y continuidad de la microrred instalada

Uno de los aspectos fundamentales es la formación de capacidades en la comunidad para garantizar el funcionamiento y continuidad de la microrred. Son las personas las que garantizaran esta actividad, Por lo tanto se deberán escoger a los más preparados, entusiastas y capaces

La preparación deberá comenzar desde el inicio del proyecto y se deberá propiciar su participación directa en la construcción, puesta en marcha y pruebas, con vistas a que, conozcan los más mínimos detalles y localización de las cosas.

18. Socialización de los resultados obtenidos

18.1. Lecciones aprendidas

Las actividades de socialización de los resultados obtenidos en cada una de los objetos de obra o FRE, como en la instalación de una microrred, deberán tener sus espacios en reuniones técnicas y talleres organizados por el Proyecto.

Las discusiones abiertas, guiadas por algún experto o especialista en estos sistemas, constituirán la retroalimentación necesaria para solucionar los problemas técnicos y organizativos del presente y el futuro.

También otorgará crédito moral y social a los habitantes para sentirse útiles y reconocidos.

La participación de un experto también tendrá como objetivo explicar o resolver cualquier problema técnico sencillo que, por desconocimiento de los habitantes, podría poner en riesgo la aceptación de las tecnologías aplicadas.

18.2. Informes y publicaciones

Normalmente se necesitan elaborar informes y publicaciones en tiempo y calidad ante los organismos superiores o rectores de la comunidad, los cuales deberán ser asesorados por personal calificado. No se excluye la presentación social ante los medios, donde los actores locales como operadores, amas de casa y otros beneficiarios deberán ser seleccionados entre los más preparados para brindar una imagen positiva de la microrred.

El Anexo 1 presenta un diagrama de flujo que ilustra la secuencia de los pasos descritos.

IV. Conclusiones

El estudio reveló un número significativo de comunidades aisladas del Sistema Electroenergético Nacional en las provincias Holguín, Santiago de Cuba y Guantánamo, donde es posible realizar proyectos de microrredes. A pesar de las dificultades para la obtención de la información, se obtuvo un censo actualizado de las comunidades con datos demográficos, técnicos y de fuentes renovables de energía, entre otros; lo cual permitirá implementar proyectos de mejoramiento del servicio eléctrico con FRE sin aumentar el consumo de combustibles fósiles, ni la contaminación ambiental. Por lo tanto, actualizar periódicamente la información sobre las comunidades aisladas resulta imprescindible para disponer de un potencial real de implementación de microrredes aprovechando las ventajas de estas zonas.

Se elaboró y aplicó una metodología para la determinar el potencial de una comunidad para la instalación de microrredes.

V. Referencias bibliográficas

Arispe, W., Claire, J., Georg, R., Guzman, J., Jiménez, F., Juffre, A., Ledesma, Z. y Marquardt, B. (1992). *La Unidad de Biodigestión Integral. Proyecto Biogás UNSS-GTZ* (pp. 120). Bolivia.

Bérriz Pérez, L. y Álvarez González, M. (2016). *Manual de calentadores solares*. Editorial Cubasolar, La Habana, Cuba, 194 pp. 978-959-7113-49-2

Curbelo Alonso, A.J. et al. (2018). Atlas de bioenergía. Cuba (Edición 2018) (pp. 83). Editorial Cubaenergía. La Habana, Cuba.

Homer Energy, LLC (2020). HOMER (Versión 1.9) [Software] Recuperado de www.homerenergy.com

Moreno Figueredo, C. et. al. (2012). *Diez preguntas y respuestas sobre energía eólica*. Editorial Cubasolar, La Habana, Cuba. 978-959-7113-37-9

Rodríguez Rosales, A. (2019). *Informe sobre caracterización de la demanda energética en la comunidad Guasasa*.

Sosa Cáceres, R. (2020). *Consejo científico Cubaenergía: Informe Parcial sobre el proyecto Desarrollo de Microrredes en Cuba* (pp. 15).

Sosa Cáceres, R., Curbelo Alonso, A., Viant Garrido, E., Rodríguez Rosales, A., Suarez J, Cepero Casas, L., Saunders Vázquez, A. y Álvarez González, M. (2018). *Consejo científico Cubaenergía: Informe final sobre el Proyecto Desarrollo de un sistema de microrred inteligente con la utilización de multitecnologías energéticas renovables para lugares aislados o para circuitos cerrados*. Código P211LH 003048 (pp. 190).

VI. Anexo

Anexo 1: Metodología de implementación de microrredes para las condiciones de Cuba. Diagrama de flujo.

Conflicto de intereses: Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

Contribución de los autores: Roberto Sosa Cáceres, conceptualización, curación de datos, investigación y supervisión; Enrique Viant Garrido, análisis formal, supervisión y redacción-borrador original; Ariel Rodríguez Rosales, curación de datos, análisis formal e investigación; Alfredo Curbelo Alonso, redacción-revisión; Manuel Álvarez González, edición.

Se agradece la colaboración del Centro de Información y Gestión Tecnológica (Ciget) de Holguín y Santiago de Cuba (sede conocida como Megacen); también al Centro de Aplicaciones Tecnológicas para el Desarrollo Sostenible (Catedes) de Guantánamo.

Recibido: 29 de octubre de 2022

Aprobado: 21 de noviembre de 2022

Anexo 1: Metodología de implementación de microrredes para las condiciones de Cuba. Diagrama de flujo.

