

Metodología para el proyecto sostenible de energía comunitaria en la comunidad indígena aico en tolima - Colombia**Metodologia para o projeto de energia comunitária sustentável na comunidade indígena aico em tolima – Colômbia**

DOI:10.34117/bjdv6n10-009

Recebimento dos originais: 08/09/2020

Aceitação para publicação: 02/10/2020

Isaías Quitora Mendoza

Ingeniero Eléctrico

Institución: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D. C., Colombia

Dirección: Carrera 112ª bis # 68ª-34, Bogotá D. C., Colombia

E-mail: iquitoram@correo.udistrital.edu.com

Clara Inés Buriticá Arboleda

PhD. en Gestión Eficiente de la Energía Eléctrica de la Universidad Politécnica de Valencia – España

Institución: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D. C., Colombia

Dirección: Carrera 58 Nro. 125B-01 casa 2, barrio Niza Córdoba. Bogotá D. C., Colombia

E-mail: ciburiticaa@udistrital.edu.com

Natalia Lucia Rondón Flórez

Ingeniera Eléctrica

Institución: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D. C., Colombia

Dirección: Calle 130 # 58b – 30 apto 619 edificio Forte la Quinta Bogotá D. C., Colombia

E-mail: natflores11@gmail.com

Juan Sebastián Bedoya Fierro

Ingeniero Eléctrico

Institución: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D. C., Colombia

Dirección: Carrera 32 #25B-53, Bogotá D.C., Colombia

E-mail: sebastianbedoya@live.com

RESUMEN

Se estima que, en Iberoamérica, hay cerca de 66.000 escuelas sin energía eléctrica; en Colombia son cerca de 4.400 escuelas, que constituyen el 30% de las instituciones educativas oficiales del país y el 93% de ellas, se encuentran ubicadas en zonas rurales. La educación de las nuevas generaciones es el soporte del desarrollo social sostenible, de la calidad de vida, de la equidad y justicia social; de la protección del entorno natural, y de la conservación de las costumbres y tradiciones de la comunidad.

Este es el caso que se presenta en la comunidad indígena Aico, ubicada en el departamento del Tolima - Colombia, en la que habitan 52 familias que equivalen a 248 personas. En esta comunidad no se cuenta con servicios domiciliarios básicos: acueducto, alcantarillado, recolección basuras, telecomunicaciones y energía eléctrica. Este artículo presenta la metodología de construcción participativa, desarrollada para el proyecto sostenible de energía renovable comunitaria, con la posibilidad de ser replicable y escalable en el tiempo, según el marco normativo y legal vigente. Esta metodología, plantea un enfoque incluyente, que posibilita el empoderamiento de las comunidades; y, de esta manera, se garantiza la sostenibilidad de las iniciativas. Adicionalmente, la metodología es validada mediante el estudio de caso de la electrificación de la escuela primaria del Resguardo Indígena Aico, para lo que se realiza: la caracterización de las necesidades de energía eléctrica, la evaluación del potencial de los recursos de energía renovable no convencional disponibles en la zona y se selecciona la mejor alternativa para la electrificación de la escuela; todo esto con la participación activa de la comunidad. Posteriormente se diseña un sistema solar fotovoltaico para suplir parte de las necesidades de energía eléctrica y se evalúa la factibilidad de la solución energética. Finalmente, se realizan capacitaciones básicas en energías renovables no convencionales a niños y adultos de la comunidad indígena, a fin de iniciar la transferencia tecnológica, y, garantizar que el prototipo de generación eléctrica propuesto, sea sostenible en el largo plazo.

Palabras clave: Desarrollo Sostenible, Eficiencia Energética, Energía Comunitaria, Energía Renovable, Innovación.

RESUMO

Estima-se que na América Latina existem cerca de 66.000 escolas sem eletricidade; na Colômbia existem cerca de 4.400 escolas, que constituem 30% das instituições educacionais oficiais do país e 93% delas estão localizadas em áreas rurais. A educação das novas gerações é o apoio ao desenvolvimento social sustentável, qualidade de vida, equidade e justiça social; proteção do meio ambiente natural, e conservação dos costumes e tradições da comunidade.

Este é o caso da comunidade indígena Aico, localizada no departamento de Tolima, Colômbia, que abriga 52 famílias, o equivalente a 248 pessoas. Esta comunidade não dispõe de serviços domésticos básicos: abastecimento de água, esgoto, coleta de lixo, telecomunicações e eletricidade. Este artigo apresenta a metodologia de construção participativa desenvolvida para o projeto de energia renovável comunitária sustentável, com a possibilidade de ser replicável e escalável ao longo do tempo, de acordo com o atual marco regulatório e legal. Esta metodologia propõe uma abordagem inclusiva, que permite o empoderamento das comunidades; e, desta forma, a sustentabilidade das iniciativas é garantida. Além disso, a metodologia é validada através do estudo de caso da eletrificação da escola primária da Reserva Indígena do Aico, para a qual se faz o seguinte: a caracterização das necessidades de energia elétrica, a avaliação do potencial dos recursos não convencionais de energia renovável disponíveis na área e a seleção da melhor alternativa para a eletrificação da escola; tudo isso com a participação ativa da comunidade. Posteriormente, um sistema solar fotovoltaico é projetado para suprir parte das necessidades de energia elétrica e a viabilidade da solução energética é avaliada. Finalmente, é dado treinamento básico em energias

renováveis não convencionais para crianças e adultos da comunidade indígena, a fim de iniciar a transferência de tecnologia e garantir que o protótipo proposto de geração de eletricidade seja sustentável a longo prazo.

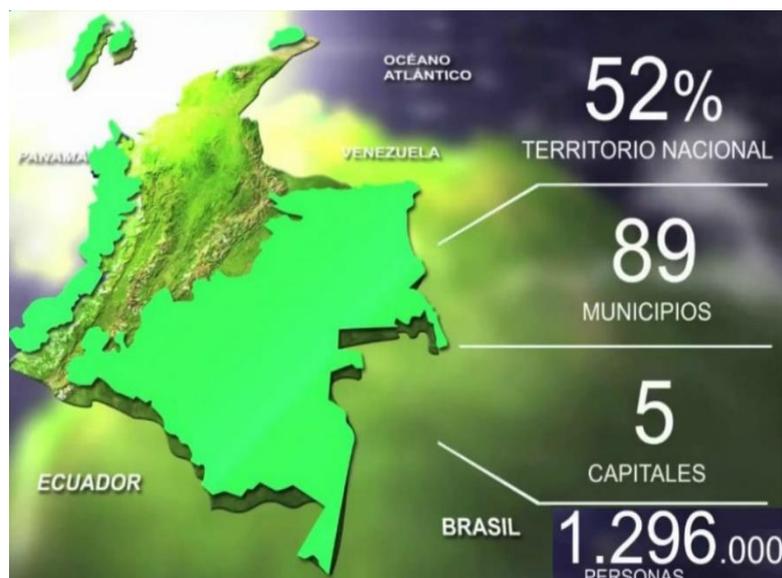
Palavras-chave: Desenvolvimento Sustentável, Eficiência Energética, Energia Comunitária, Energia Renovável, Inovação

1 INTRODUCCIÓN

Para comenzar, el acceso a la energía eléctrica es una problemática que aún se presenta como uno de los grandes retos para la humanidad, debido a que, la electricidad influye de forma relevante en el desarrollo de las distintas comunidades y actualmente existe un elevado número de personas sin este servicio. Se estima que, al inicio de 2015, existían cerca de 1.100 millones de personas sin electricidad, a nivel mundial; y, unos 3.000 millones de personas que cocinaban con combustibles contaminantes (ONU, 2015).

Los países en vía de desarrollo, contribuyen en gran medida con dichas cifras; por ejemplo, en América Latina y el Caribe, se estima que aún existen 31 millones de personas sin energía eléctrica, de las cuales 26 millones de personas están ubicadas en zonas rurales (IEA, 2011). Así mismo, en Colombia también existe un reto importante debido a que el 52% del territorio nacional pertenece a las Zonas no Interconectadas (ZNI), en las que habitan cerca 1.300.000 personas que no cuentan con el servicio de energía eléctrica (IPSE, 2014). Para ilustrar, en la Fig. 1, se muestran las zonas que no cuentan con el servicio de energía eléctrica en Colombia.

Figura 1. Panorama general de las Zonas no Interconectadas (ZNI) en Colombia.



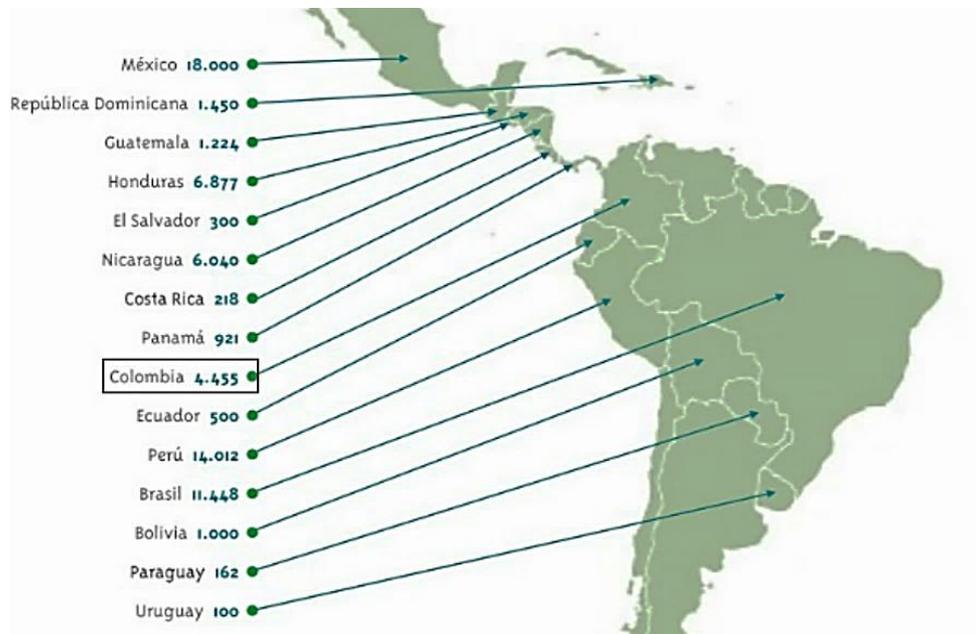
Fuente: (IPSE, 2014)

Por tanto, es evidente que existe un gran reto para suplir de energía eléctrica a un gran número de seres humanos. Este problema se profundiza aún más, cuando estas limitaciones impiden un adecuado desarrollo de las poblaciones, la posibilidad de mejorar su calidad de vida y disminuir los índices de desigualdad. De igual forma, esta problemática se hace más notoria, cuando se desarrollan proyectos de generación de energía eléctrica que no involucran, ni tienen en cuenta los intereses y necesidades de las poblaciones directamente afectadas, tal es el caso de las comunidades tradicionales de Rio Grande do norte en Brasil, que fueron perjudicadas por los proyectos de generación eólicos implementados por empresas privadas en sus territorios, ya que vieron disminuidos sus ingresos, que son principalmente por el turismo, disminuido por la afectación paisajística de la región. (da Cunha, de Farias Silva, & Guimarães de Carvalho, 2019)

En Colombia, es preocupante que aún existen cerca de 4.000 escuelas sin conexión a energía eléctrica, las cuales constituyen el 30% de las instituciones educativas oficiales del país, y pertenecen en un 93%, a zonas rurales de alta vulnerabilidad (OEI, 2012).

En la Fig. 2, se presenta un panorama de las escuelas sin el servicio de energía eléctrica en Iberoamérica, donde Colombia se ubica en el puesto seis (6) de los países con mayor cantidad de escuelas sin electricidad (OEI, 2012).

Figura 2. Escuelas sin conexión a energía eléctrica en Iberoamérica.



Fuente: (OEI, 2012)

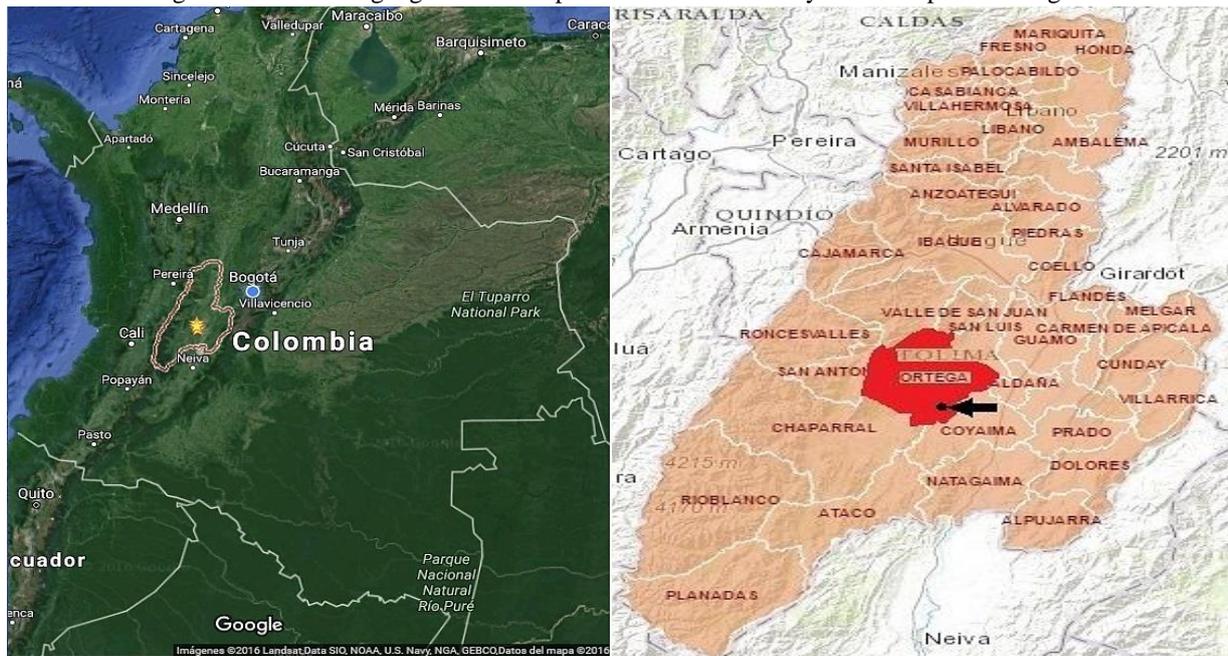
Brazilian Journal of Development

Para el caso del trabajo con comunidades indígenas y campesinas, se tiene un reto que implica un mayor grado de detalle, debido a que es necesario realizar un adecuado proceso de transferencia y apropiación de la tecnología, para que los proyectos sean sostenibles.

En Colombia, se presentan casos con algunas comunidades indígenas de la Amazonia (caso Guainía), en el que los proyectos de energías solar fotovoltaica no perduraron en el tiempo, debido a que no existió un acompañamiento y empoderamiento de la solución energética por parte de la comunidad. El enfoque de energía comunitaria que se propone, tiene su fundamento en permitir que sean los directamente involucrados en los proyectos de energía, quienes se reúnan y trabajen conjuntamente por el propósito de mejorar su calidad de vida, y exigir que se brinde apoyo técnico y financiero.

La metodología desarrollada, permite que se presente esquemáticamente el procedimiento que se debe seguir para organizarse comunitariamente, plantear un proyecto de energía eléctrica y, además, presenta lineamientos para tomar medidas que permitan que los proyectos perduren en el tiempo y conlleven a un adecuado desarrollo sostenible. El escenario de estudio es la escuela Guatavita Tua de la comunidad indígena Aico, ubicada en el Departamento del Tolima en Colombia (ver Fig. 3), que además hace las veces de centro para sus reuniones. Se propone implementar un prototipo que haga uso de una fuente de energía renovable no convencional de mayor potencial energético en la zona, para mejorar las condiciones educativas de la escuela primaria y proveer a la comunidad de un punto de carga de linternas y celulares.

Figura 3. Ubicación geográfica del departamento del Tolima y el municipio de Ortega.



Fuente. Adaptado de (Google maps, 2016)

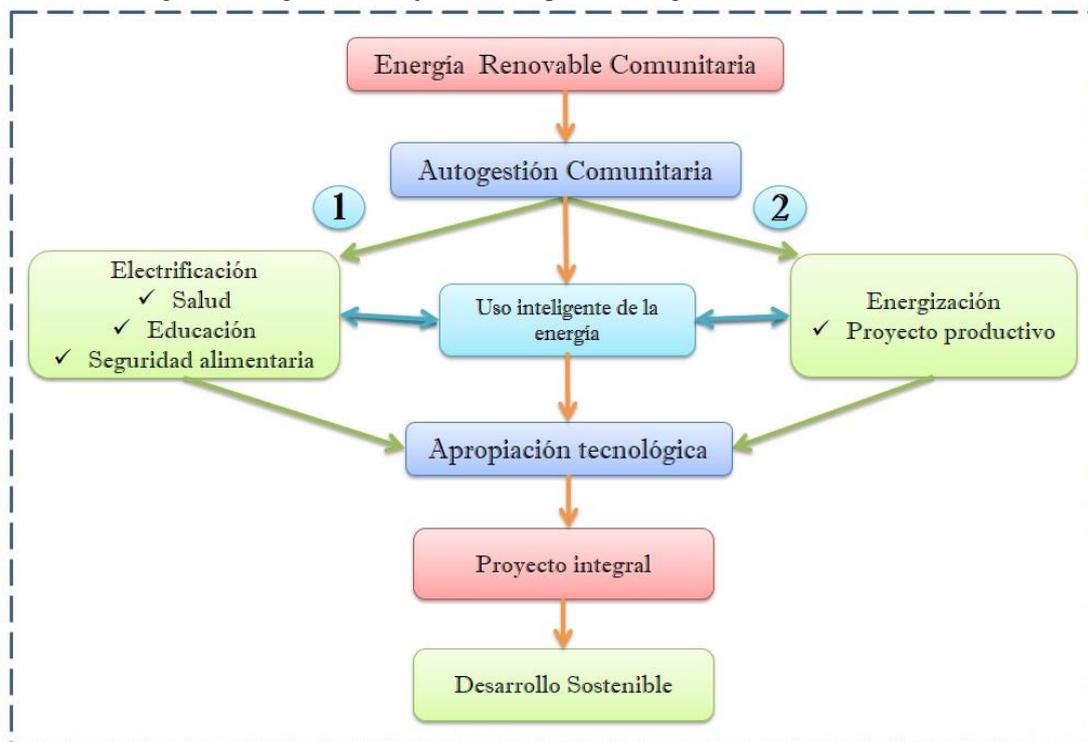
2 METODOLOGÍA

“Energía Comunitaria significa que los miembros de la comunidad son propietarios del proyecto y ejercen cierto control sobre él, ya sea mediante una cooperativa o como grupo de propietarios de los terrenos en que se asienta un proyecto, como propietarios de una pequeña empresa o como residentes y dueños de los hogares que viven y trabajan con la instalación directamente”

(Comisión para la Cooperación Ambiental, 2010)

La energía comunitaria, debe necesariamente conducir al desarrollo sostenible de una población. Para ello, se requiere llevar a cabo proyectos integrales, en los que la comunidad se vincule y se apropie de la tecnología, con el objetivo de generar soluciones sostenibles, a largo plazo. Los proyectos de energía renovable, deben en primera medida, suplir las necesidades básicas de electrificación para: salud, educación de calidad y seguridad alimentaria. Posteriormente, se debe llegar al proceso de energización, mediante la realización de proyectos productivos, que permitan el desarrollo económico de una población. Finalmente, es debido decir, que un componente que siempre debe tenerse en cuenta, es el uso inteligente de la energía eléctrica. En la Fig. 4, se presenta el diagrama de flujo de la energía renovable comunitaria, en el que se evidencian los componentes claves, para que se permita el desarrollo sostenible adecuado de una comunidad.

Figura 4. Diagrama de flujo del concepto de Energía Renovable Comunitaria.



Fuente. Elaboración propia.

La propuesta metodológica, para el proyecto de energía comunitaria, toma como caso de estudio la electrificación de la escuela primaria del resguardo indígena Aico; y, fue desarrollada mediante un trabajo comunitario directo con esta población. En la Fig. 5, se presenta esquemáticamente la metodología propuesta. Es de anotar, que debido al enfoque comunitario que se plantea, se requiere que exista un acompañamiento de la colectividad directamente involucrada en el proyecto de energía, durante cada una de las etapas que se proponen. Se inicia la metodología con un análisis del problema y las alternativas, la información clave debe ser aportada por la comunidad, debido a que es importante definir sus necesidades y la manera como entienden la problemática, para así establecer las posibles alternativas que identifiquen como solución. En cuanto a la fase de socialización y acuerdos, se requiere llegar a una decisión consensuada, en los que se consulten y acojan las opiniones de los directamente involucrados en el Proyecto, y de esta manera, establecer los recursos clave que pueden ser aportados por estos; además, de las necesidades de capacitación organizacional. Posteriormente, se desarrolla uno de los pilares de la presente metodología, la constitución de una pre-cooperativa y posterior cooperativa energética, que debe contar con la participación de los líderes comunitarios y la orientación de un equipo técnico asesor interdisciplinario.

Una vez establecidas las necesidades y seleccionada la alternativa más adecuada, se continua con la etapa de diseños y estudios técnicos. En esta fase se deben tener en cuenta estudios ambientales, financieros y sociales. Posteriormente, de ser aprobados los diseños y estudios técnicos, se podrá realizar la solicitud de recursos económicos, tanto públicos como privados.

Figura 5. Metodología propuesta para un proyecto de energía renovable comunitaria.



Fuente: Elaboración propia.

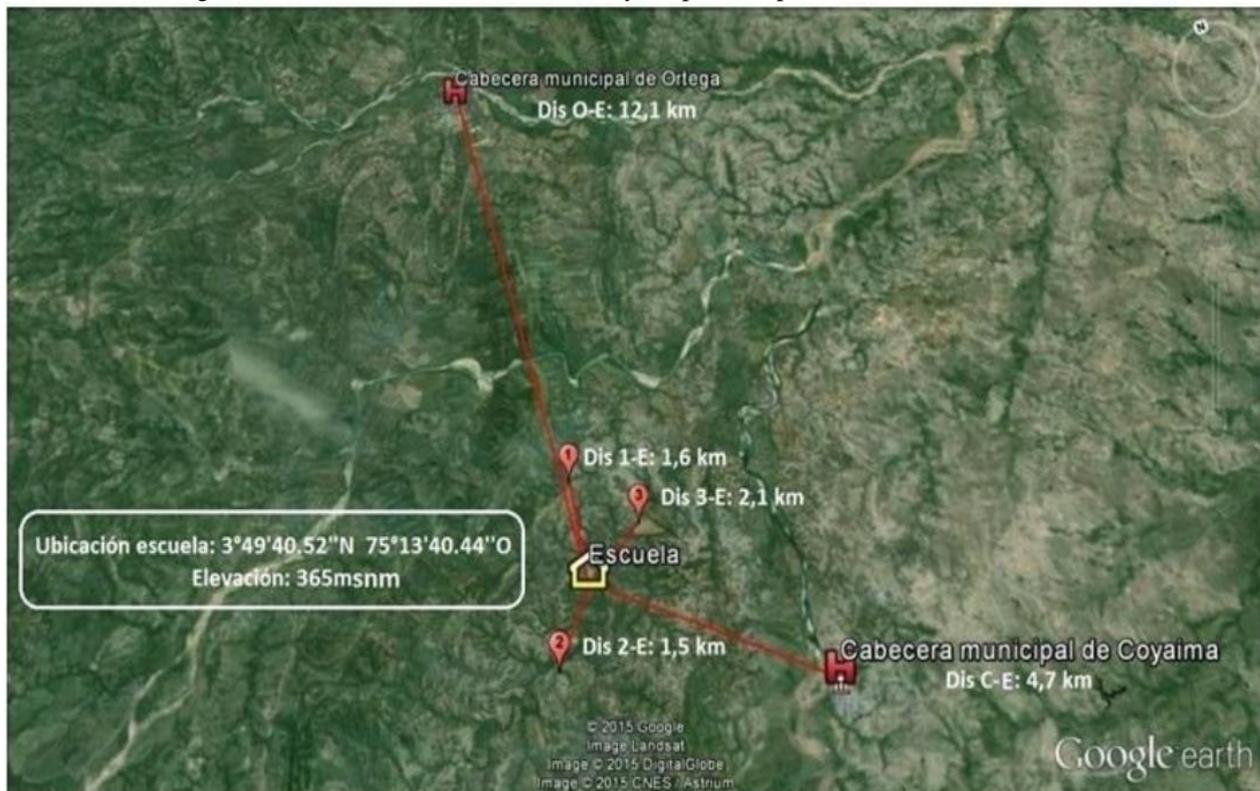
Finalmente, durante la etapa de implementación y puesta a punto, es fundamental involucrar a la comunidad. La apropiación comunitaria es el pilar para la sostenibilidad; por tanto, se propone capacitar a los miembros de la cooperativa y a los operadores del prototipo, y de una manera más básica a toda la comunidad. Es de anotar, que la metodología propuesta, en ningún caso debe ser rígida y debe adaptarse a las circunstancias propias de cada proyecto, en caso de que así se requiera.

2.1 ANÁLISIS DE PROBLEMA Y ALTERNATIVAS

En el resguardo indígena Aico, se presenta un caso que se replica en 1.441 localidades de Colombia (IPSE, 2014); los usuarios se encuentran ubicados en áreas dispersas y de difícil acceso, lo que dificulta la extensión de la red eléctrica, entre otras razones, porque no es económicamente rentable. La inversión suele ser elevada y el retorno de la misma es, en algunos casos, inviable por los bajos consumos energéticos y la dificultad para el proceso de generación tarifaria y pago del servicio. Sin embargo, esto no puede ser un impedimento que limite el acceso a un servicio esencial,

que mejore la calidad de vida de las comunidades. En la Fig. 6, se presenta la ubicación de la escuela, los posibles puntos de conexión a la red y las cabeceras municipales más cercanas, donde se presta el servicio de salud. Debido a que las vías de acceso están en un deficiente estado, solo es posible llegar a la escuela caminando o cabalgando. Adicionalmente, debido a que, en la escuela del resguardo, no hay educación secundaria, los estudiantes que deseen finalizar sus estudios, tienen que realizar largas caminatas diarias, que van entre una y dos horas por recorrido.

Figura 6. Distancia lineal entre la escuela y los posibles puntos de conexión a la red.



Fuente: Adaptado de (Google maps, 2016)

Debido a que la metodología desarrollada, propone que durante el análisis del problema y de las alternativas, se consulte a la comunidad directamente involucrada, se realizó una encuesta a la comunidad para establecer una línea base. La comunidad indígena manifiesta que su principal actividad económica es la agricultura y la ganadería; sin embargo, se ha visto afectada de una manera importante, debido a efectos del cambio climático, que ha afectado sus dinámicas económicas, llevando a la comunidad, a una economía de subsistencia. El grado de escolaridad, también es un factor que se debe tener en cuenta; para el caso de estudio, el hecho que la comunidad no cuente con educación secundaria permite que gran parte de sus integrantes solo alcancen su educación primaria,

sin embargo, hay casos interesantes donde inclusive algunos habitantes han logrado un nivel técnico y tecnológico.

Las instalaciones de la institución educativa Guatavita Tua sede Aico, están en condiciones de abandono. En la Fig. 7, se evidencia el estado de las aulas y en la Fig. 8, se presenta el estado de los baños que están deshabilitados.

Figura 7. Estado actual de la escuela Guatavita Tua del Resguardo Indígena Aico.



Fuente: Autores.

Figura 8. Estado actual de los baños de la escuela Guatavita Tua.



Fuente: Autores.

El uso de fuentes de energía renovable es un reto que se ha propuesto seriamente a nivel global para las medidas de mitigación del cambio climático; pero, además, en Colombia, se propone seriamente como iniciativa para el desarrollo económico sostenible y la seguridad del abastecimiento energético (Congreso de la República de Colombia, 2014). Finalmente, hay que tener muy en cuenta que esto necesariamente tiene que ir de la mano del uso racional y eficiente de la energía.

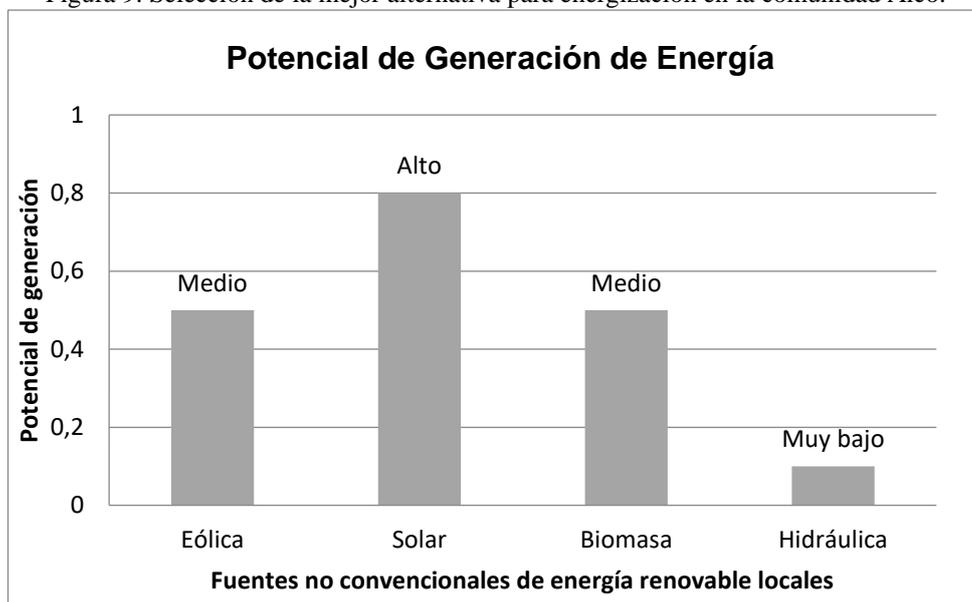
Se realizó un estudio de alternativas de recursos energéticos renovables no convencionales en la comunidad indígena, ver Fig. 9. Entre los recursos estudiados, los de mayor potencial

energético en la zona de estudio, son la biomasa y la energía solar. El recurso eólico es muy reducido en la zona de estudio, con velocidades de tan solo 1,5 m/s promedio anual, por lo que esta opción se descartó de primera mano.

En cuanto al recurso de la biomasa, es aprovechable en pequeña escala; sin embargo, el material orgánico se encuentra muy disperso, con distancias entre los 3 y 4 kilómetros, desde el lugar de recolección hasta la escuela de la comunidad, donde se propone el prototipo comunitario. No obstante, el recurso de biomasa aprovechable se podría utilizar para la cocción de alimentos, en actividades agrícolas y pecuarias domésticas, que requieren un menor potencial energético. Para ello, valdría la pena ahondar en esta posibilidad, en un próximo proyecto de investigación, tomando como referencia el estudio de cuantificación teórica y experimental de biogás, producido por materia orgánica, que se desarrolló en la ciudad de Muritiba del estado de Bahía en Brasil (da Silva do Nascimento & Pinheiro Ferreira, 2020)

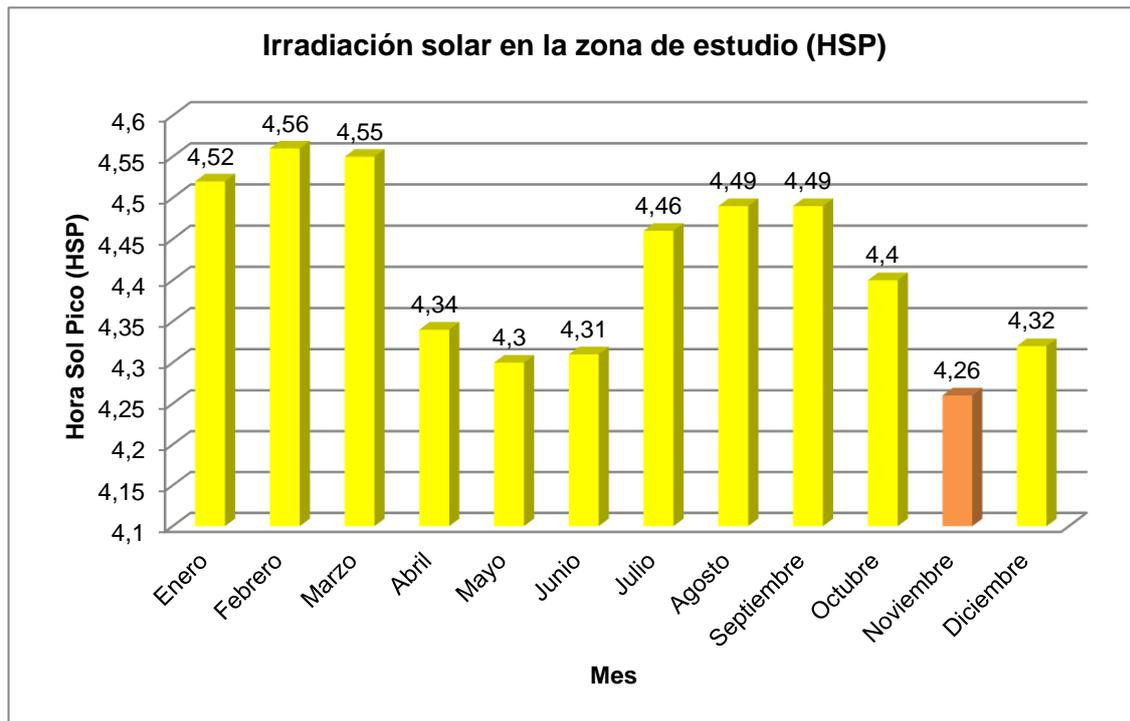
En conclusión, el recurso energético de mayor potencial en la zona de estudio, es el recurso solar, con un promedio anual de 4,42 kWh/m²/día. En la Fig. 10, se presenta la irradiación solar mensual en la zona de estudio.

Figura 9. Selección de la mejor alternativa para energización en la comunidad Aico.



Fuente: (UPME, 2015)

Figura 10. Irradiación solar en la zona de estudio [HSP] durante el año 2015.



Fuente: (NASA, 2015)

2.2 SOCIALIZACIÓN, ACUERDOS CON LA COMUNIDAD Y CONSTITUCIÓN DE PRE-COOPERATIVA ENERGÉTICA

La etapa de socialización y acuerdos con la comunidad, es componente principal para la aceptación del proyecto y para la selección de la mejor alternativa. Para el caso colombiano cuando se plantea desarrollar proyectos de explotación y/o de desarrollo que intervengan el territorio de grupos étnicos (Indígenas, Afrodescendientes, Raizales y Palenqueros), se debe realizar un procedimiento de Consulta Previa¹ ante el Ministerio del Interior, en el que la comunidad debe aprobar el proyecto, debido a la autonomía y soberanía con la que cuentan. En algunas ocasiones los procesos de Consulta Previa son mal direccionados y se aprueban proyectos que perjudican en gran medida a las comunidades y al medio ambiente. En el caso que la comunidad sea quien propone el proyecto y este de acuerdo, se permite realizar un proceso denominado Consentimiento

¹ La consulta previa "...aparece legalmente en el Convenio 169 de la Organización Internacional del Trabajo - OIT, ratificado en Colombia por la Ley 21 de 1991, el cual tiene como finalidad asegurar los derechos de los pueblos indígenas y tribales a su territorio y la protección de sus valores culturales, sociales y económicos. Este Convenio 169 en su artículo 6°, dispone que los gobiernos deberán consultar a los pueblos interesados, mediante procedimientos apropiados y en particular a través de sus instituciones representativas, cada vez que se prevean medidas susceptibles de afectarles directamente. Además, deben establecer los medios a través de los cuales los pueblos pueden participar libremente, que las consultas deberán efectuarse de buena fe y de una manera apropiada a las circunstancias, con la finalidad de llegar a un acuerdo o lograr el consentimiento acerca de las medidas propuestas." (Rodríguez, 2013)

Informado. Para el caso de esta investigación, se desarrollaron reuniones y actas en las que la comunidad expresaba el interés por el proyecto.

Se realizó una jornada de trabajo, por medio de un taller para establecer acuerdos con la comunidad, en el que se realizó una capacitación básica. Se trabajaron los conceptos generales de: energía, fuentes de energía (convencional y no convencional), beneficios y perjuicios ambientales, uso y aprovechamiento de la energía, y comparación de las posibles alternativas para la electrificación de la escuela caso de estudio. Con este trabajo de base se llegaron a los siguientes acuerdos y compromisos:

- 1) Autorización para el inicio del proyecto (acta de constitución de proyecto)
- 2) Designación de un equipo de trabajo base (pre-cooperativa), asignando responsabilidades
- 3) Concreción para la aprobación del diseño y estudios técnicos, de un prototipo solar fotovoltaico básico, a instalar en la escuela del resguardo indígena.

En la Fig. 11, se presenta una imagen de una de las reuniones de socialización, realizadas con la comunidad que participa en el proyecto.

Figura 11. Jornada de socialización y acuerdos con la comunidad.



Fuente: Autores.

2.3. FASE DE DISEÑOS Y ESTUDIOS TÉCNICOS

Posterior a la selección de la alternativa y a los acuerdos con la comunidad, se llevó a cabo la fase de diseño del prototipo solar fotovoltaico comunitario para la escuela del resguardo indígena. Este prototipo, solo sufre una parte de las necesidades de energía eléctrica, y tiene la capacidad de alimentar un pequeño centro de cómputo, un sistema de sonido, iluminación interior y exterior; además, contempla un punto de carga de celulares y linternas. En la Tabla 1, es presentado el cuadro

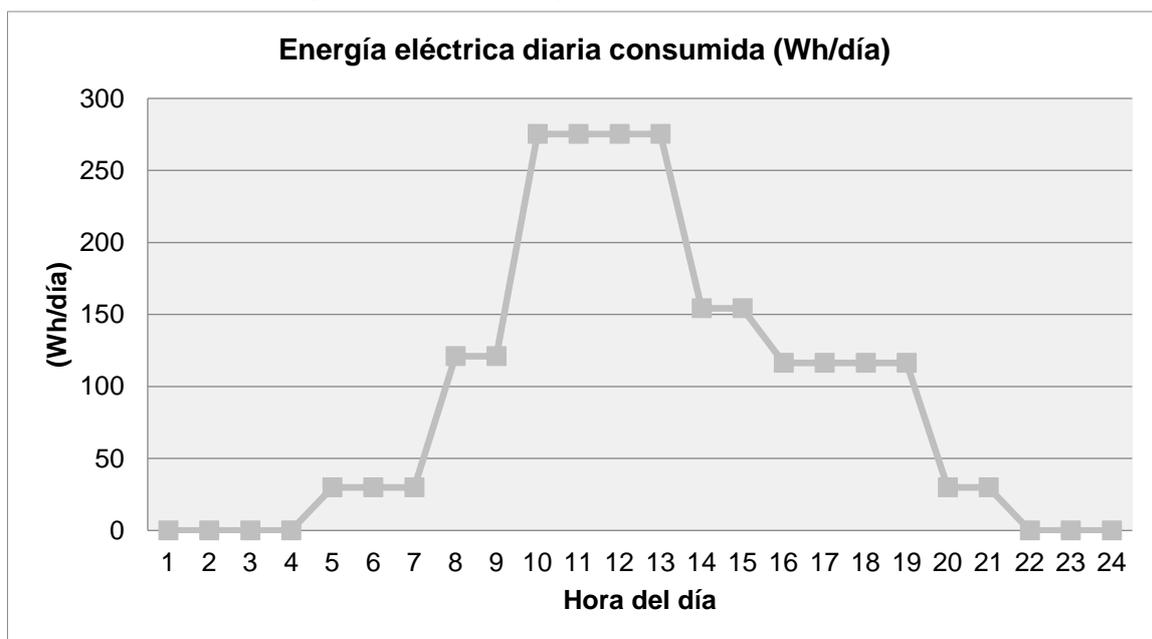
de cargas de los equipos que se proponen; se especifica la potencia de cada equipo y la potencia total requerida.

Tabla 1. Cuadro de cargas del prototipo solar a instalar

Cantidad	Cargas	Potencia equipo (W)	Potencia total equipos (W)
2	Computador portátil (Input 19V - 3,42A)	65	130
1	Multifuncional Ecotank L455	19	19
1	Sistema de sonido 2.1 Z213	17	17
1	Router Wifi Banda Dual Ac Tp-link Archer C7	30	30
2	Luminaria - LED P36667	36	72
1	Reflector LED Iluminación exterior-ASL030603	30	30
1	Grabadora Digital Zs-ps30cp	22	22
1	Tomacorriente para cargar celulares y linternas a 110 V	180	180
Potencia total (W)			500

A continuación, se realizó la ponderación del consumo diario de energía, en la Fig. 12, se presenta la curva de electricidad diaria consumida. Es planteada de tal manera que el mayor consumo de energía se realice justo al medio día, cuando hay mayor radiación solar. Por lo tanto, se propone que el servicio de carga de celulares y linternas se realice a medio día.

Figura 12. Curva de energía eléctrica diaria consumida



Posteriormente, se realiza el dimensionamiento del prototipo solar fotovoltaico Off-Grid. En primera medida, se tiene en cuenta el consumo de energía eléctrica que fue calculado por medio del cuadro de cargas y el estimado de horas de uso por equipo durante un día, que responde directamente al área bajo la curva de electricidad diaria consumida. Posteriormente, se evalúa el recurso de energía solar, se tiene en cuenta el mes crítico de diseño (de menor radiación solar), que para el caso específico es el mes de mayo, con un promedio multianual de 4,3 kWh/m²/día. A continuación, se evalúan las pérdidas de energía que responden a la eficiencia de los equipos, pérdidas por cableado y un ponderado de pérdidas por la disponibilidad del recurso solar (Total Solar Resource Fraction – TSRF). Posteriormente, se realiza el cálculo de la energía eléctrica total requerida. Finalmente, se realiza el dimensionamiento del arreglo fotovoltaico y del banco de baterías. En la Tabla 2, se presenta en detalle, los criterios técnicos y el procedimiento seguido para el dimensionamiento del prototipo.

Tabla 2. Dimensionamiento prototipo solar fotovoltaico propuesto

Dimensionamiento del prototipo solar fotovoltaico para la Escuela Guatavita Tua			
1. Demanda energética		3. Pérdidas de energía	
Demanda energética AC [Wh]	1985	Eficiencia del inversor	95%
Demanda energética DC [Wh]	288	Eficiencia de las baterías	85%
Demanda energética total [Wh]	2273	Eficiencia Arreglo FV	98%
2. Recurso solar		Eficiencia del cableado	75%
Irradiación en zona de estudio [HSP]	4,3	Total solar resource fraction -TSRF	90%
4. Dimensionamiento Arreglo Fotovoltaico		Energía requerida [Wh]	
Potencia requerida [W]	899	3866	
		5. Dimensionamiento banco baterías	
Potencia panel solar seleccionado [Wp] (PX 150 SUNSET - Policristalino)	150	Días de autonomía - Tecnología en gel libre de mantenimiento	2
Número de paneles	6	Factor de temperatura	90%
Número de Strings	1	DOD (Profundidad de descarga)	60%
Número de paralelos	6	Energía banco de baterías [Wh]	8419
Potencia total instalada [Wp]	900	Capacidad banco de baterías [Ah]	351
Inclinación	9°	Tensión banco de baterías [V]	24
Azimut	15°	Número de Strings	2
Latitud	3.828°N	Número de paralelos	3
Longitud	75.228°O	Número de baterías	6

2.4 APROPIACIÓN COMUNITARIA Y SOSTENIBILIDAD

Para el proceso de apropiación comunitaria y sostenibilidad, en su etapa inicial, se realizan jornadas de capacitación dirigidas a los niños de la comunidad, por medio de talleres de pintura y juegos didácticos. En la Fig. 13, se muestra una de las actividades realizadas con los niños de la comunidad.

Figura 13. Talleres de apropiación de conocimiento para niños de la comunidad

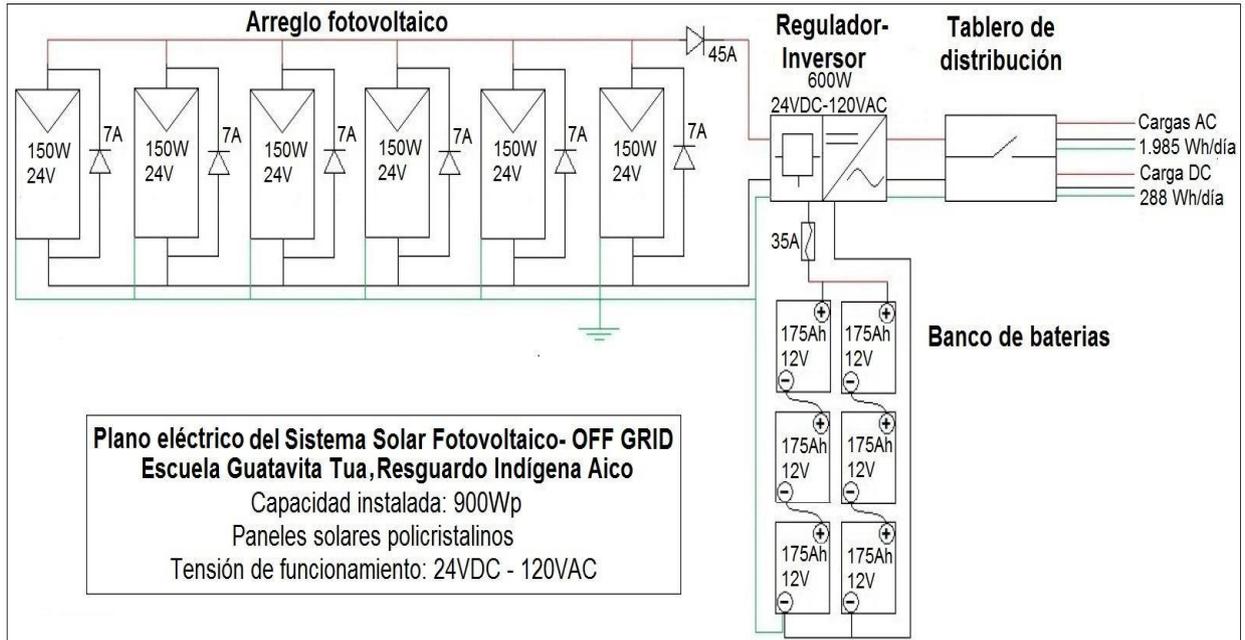


3 RESULTADOS

A continuación, se resumen los resultados más relevantes, alcanzados durante el desarrollo del presente proyecto:

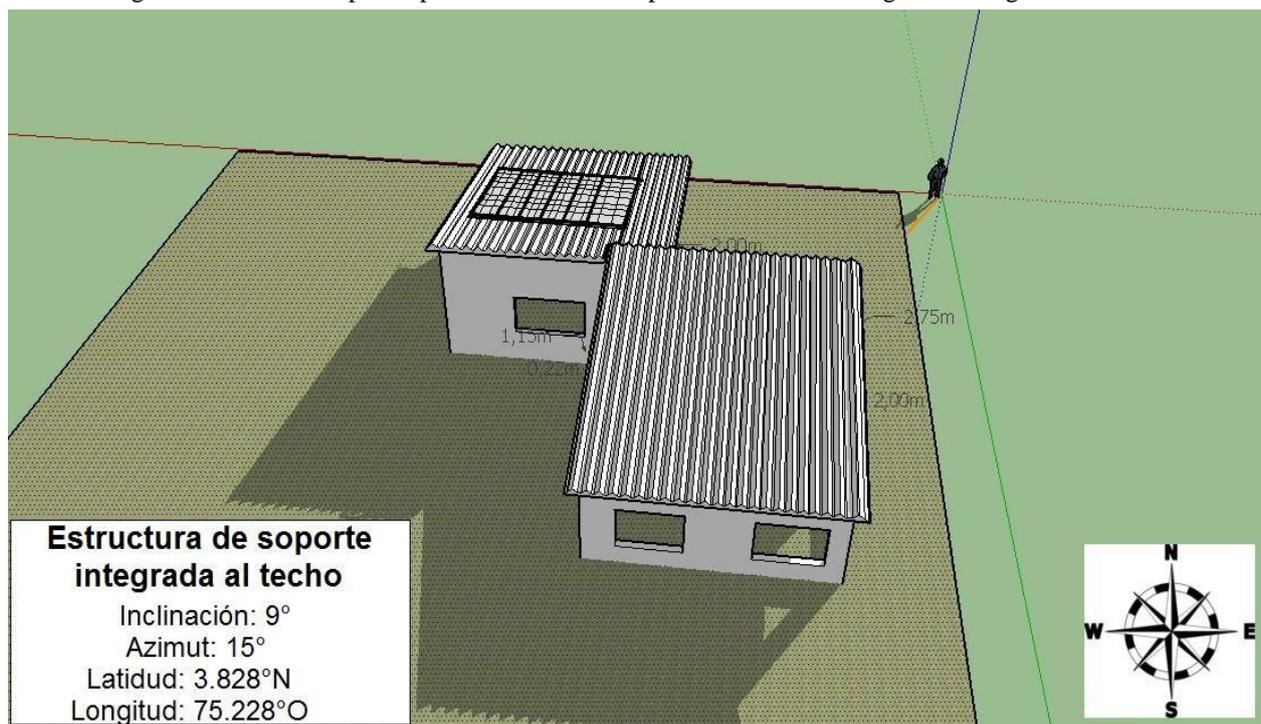
- Diseño de la metodología para el proyecto sostenible de energía comunitaria, mediante un trabajo comunitario, incluyente y participativo. Esta metodología comprende los siguientes pasos: análisis de problema y alternativas, socialización y acuerdos con la comunidad, constitución de cooperativa energética, fase de diseños y estudios técnicos, solicitud de recursos, implementación y puesta a punto; y, apropiación comunitaria y sostenible.
- Validación de la metodología desarrollada, mediante la propuesta de un prototipo solar fotovoltaico para la comunidad indígena Aico; cumpliendo con cada paso de dicha metodología.
- Gestión de recursos económicos, mediante la realización de actividades comunitarias, con el fin de recaudar fondos, para la implementación del prototipo solar fotovoltaico diseñado. También se realizó el proceso inicial de apropiación comunitaria, por medio de talleres de capacitación básica en energía, evidenciando motivación y acogida, por parte de la comunidad indígena.
- Diseño del prototipo de energía solar fotovoltaica. En la Fig. 14, se muestra el plano eléctrico del prototipo diseñado, para la escuela de la comunidad indígena Aico; que para el caso de estudio es Off Grid. Se puede evidenciar la conexión en paralelo de seis paneles solares policristalinos de 150 Wp cada uno, lo que permite una capacidad instalada de 900 Wp. El arreglo fotovoltaico genera energía a un nivel de tensión de 24 VDC; y, dado que se cuenta con cargas que funcionan con corriente alterna, es necesario el uso de un Inversor de Corriente DC-AC, que permite el funcionamiento de equipos a 120 VAC. El banco de baterías cuenta con dos días de autonomía y tiene una capacidad 1050 Ah, son baterías tipo gel, libres de mantenimiento.

Figura 14. Plano eléctrico del sistema solar fotovoltaico propuesto.



- Diseño estructural para la implementación del prototipo propuesto. En la Fig. 15, se presenta el tipo de estructura de soporte (integrada al techo), la ubicación y disposición del prototipo solar fotovoltaico, inclinación y azimuth; y, la ubicación geográfica de la escuela del resguardo indígena. No se requirió realizar un estudio de sombras, debido a que no hay interferencia y la radiación solar se puede aprovechar sin limitaciones.

Figura 15. Diseño del prototipo solar fotovoltaico para la escuela del resguardo indígena Aico.



4 CONCLUSIONES

La metodología propuesta en la presente investigación, se elaboró y validó, mediante el estudio de caso del proyecto comunitario, desarrollado con el resguardo indígena Aico, en el departamento de Tolima, en Colombia. La comunidad indígena, mostró con este proyecto, un grado de aceptación y pertinencia significativo, lo que posibilita una segunda fase de estudio de sustentabilidad. Se tienen en cuenta los conceptos y procedimientos más relevantes que se han identificado en el trabajo comunitario propio de este caso de estudio, sin embargo, se plantea que la metodología propuesta debe ser dinámica y puede ajustarse a condiciones particulares de cada población.

El desarrollo de un proyecto de energía renovable comunitaria, debe tener como objetivo principal lograr el desarrollo sostenible de la población o comunidad que se beneficiará. Para ello, se debe iniciar con un proceso de electrificación rural, que permita suplir en primera medida, necesidades básicas de electricidad, para los servicios de educación, salud y seguridad alimentaria. Posteriormente, es necesario avanzar en la energización de la zona, mediante el aprovechamiento de la energía en procesos productivos, que permitan el desarrollo económico y social de la comunidad, además de la sostenibilidad a largo plazo. Finalmente, se debe enfatizar en el uso y consumo inteligente de la energía, que debe ir necesariamente de la mano de todo proyecto de energía renovable no convencional.

El enfoque comunitario, debe estar basado en el modelo de cooperativismo. Se debe contar con un acompañamiento directo, preferiblemente de un equipo técnico multidisciplinario (ingenieros, antropólogos y/o trabajadores sociales), que guíen a la comunidad durante todo el proceso. El desarrollo de un proyecto de energía renovable comunitaria, debe ser inmerso en un plan de desarrollo de la comunidad. Es así, como se debe concebir, que la energía eléctrica no puede ser un servicio aislado; y, que debe integrarse a las dinámicas económicas y sociales, que aporten a un desarrollo integral sostenible. La propuesta de cooperativismo y acompañamiento técnico, permite organización, trabajo conjunto para llevar a cabo una buena fase de diseño y estudios técnicos, y posteriormente gestionar el financiamiento del proyecto, por parte del Estado.

Uno de los elementos fundamentales para el adecuado desarrollo de un proyecto comunitario de energía renovable, debe ser el aporte de los beneficiarios y de sus líderes, durante todas las etapas del proceso. Es necesario identificar los recursos clave, que se pueden aprovechar en la zona de estudio y el trabajo que puede aportar la comunidad; además, de realizar un consenso y llegar a acuerdos, que permitan identificar las necesidades principales, las mejores alternativas técnicas y económicas, que beneficien y a su vez sean verdaderamente aprovechadas por los usuarios.

El proceso de apropiación tecnológica y transferencia del conocimiento, permite la sostenibilidad de un proyecto de energía renovable comunitaria. Sin embargo, debido a que existen características propias de cada comunidad, se deben identificar y proponer los métodos más adecuados, para la correcta formación en: seguridad eléctrica, uso racional de la energía, buenas prácticas en el manejo energético, aprovechamiento de los recursos energéticos locales y, de la energía en procesos productivos.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por su amor incondicional y por ser el artífice de este sueño. A la comunidad Indígena Aico por compartir su territorio y brindar su apoyo; ellos se han convertido en parte de la familia. A quienes han aportado su semilla y han compartido un poco de su luz. Finalmente, agradecemos a todos aquellos que se unieron a la iniciativa “Iluminando Sueños”, que nació durante el desarrollo de este proyecto y que lideraron los autores. Al lector, una cordial invitación a unirse, y seguir apoyando este tipo de iniciativas que buscan el beneficio de las poblaciones vulnerables.





REFERENCIAS

Congreso de la República de Colombia. (2014). Ley 1715 . Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional. Bogotá D. C., Colombia.

da Cunha, O., de Farias Silva, M., & Guimarães de Carvalho, R. (2019). Os novos ventos: a (re) produção territorial a partir da introdução de parques. *Brazilian Journal of Development* v. 5, n. 10, 21944-21957.

da Silva do Nascimento, T., & Pinheiro Ferreira, V. (2020). Quantificação teorica e experimental do biogás produzido durante a remoção anaeróbia de matéria orgânica de efluente doméstico. *Brazilian Journal of Development* v. 6, n. 2, 6716-6734.

Google maps. (2016). Google Maps. Obtenido de Google Maps: <https://www.google.es/maps>
IEA, I. E. (2011). *World Energy Outlook*. París: IEA.

IPSE, I. d. (2014). *Informe de Rendición de Cuentas*. Bogotá: IPSE.

NASA. (22 de 07 de 2015). *NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources*. Obtenido de POWER data access viewer: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

OEI, O. d. (2012). OEI. Recuperado el 22 de 6 de 2015, de <http://lucsparaprender.org/web/escuelas/colombia/>

ONU. (2015). *Progress Toward Sustainable Energy, Sustainable Energy For All*. Nueva York: ONU.

Rodríguez, G. (2013). La consulta previa, un derecho fundamental de los pueblos indígenas y grupos étnicos de Colombia. *Revista Semillas*, 15.

UPME. (2015). *Guía para la elaboración de un Plan de Energización Rural Sostenible - PERS*. Bogotá D. C., Colombia: UPME - Unidad de planeación Minero Energética .