

# Methodology for the Design of a Hybrid Energy System with a Didactic Approach: Case Study Centro Educativo Luis López de Mesa

*Metodología para el diseño de un sistema de energía híbrido con enfoque didáctico: estudio de caso Centro Educativo Luis López de Mesa*

**Diego Alejandro Zambrano Joya**<sup>1</sup>, **David Leonardo Rodríguez Salazar**\*<sup>1</sup>, **Diego Julián Rodríguez Patarroyo**<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Bogotá, Colombia).  
correspondence e-mail: dlrodriguez@correo.udistrital.edu.co

Recibido: 15/04/2021. Modificado: 02/11/2021. Aceptado: 29/11/2021.

## Abstract

**Context:** The case study presented is the product of a methodological proposal to design a hybrid energy system with a didactic approach for schools in rural areas that are not interconnected or with intermittent electricity flow. The methodology is designed to be applied in communities without advanced knowledge in renewable energies.

**Method:** Initially the hybrid energy system is designed through dimensioning based on the acquisition of information and energy characterization of the educational community. The second phase is to determine, through the teaching processes, a model of structural blocks that allows addressing the design of a hybrid energy system as a didactic tool. The third phase consists of developing the structural blocks model for the case study of the Luis López de Mesa educational center, establishing the scope and benefits of the proposed methodology.

**Results:** Through wind and solar energy resources, the design of the hybrid energy system is able to satisfy the energy requirement and reduce the negative environmental impact. In turn, the teaching body manifests a high interest in the theoretical-didactic learning component that bases the methodological proposal of this research, supported by the contribution of an illustrative brochure that functions as a didactic tool.

**Conclusions:** y evaluating the methodology, it was possible to provide a support tool for the development of didactic practices taught by teachers, fostering and promoting the use of renewable energies in the structuring of curricular networks, contributing to the growth of human and environmental values in the elementary school student community.

**Keywords:** alternative energies, didactics, hybrid energy system, learning tool, methodology

**Language:** Spanish

Open access



Cite as: Zambrano, D. A., Rodríguez, D. L., Rodríguez, D. J. "Metodología para el diseño de un sistema de energía híbrido con enfoque didáctico: estudio de caso Centro Educativo Luis López de Mesa". *Ing.*, vol. 27, no. 2, 2022. e17876.  
<https://doi.org/10.14483/23448393.17876>

© The authors; reproduction right holder Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

## Resumen

**Contexto:** El estudio de caso presentado es producto de una propuesta metodológica para diseñar un sistema de energía híbrido con enfoque didáctico para escuelas de las zonas rurales no interconectadas o con intermitencia del flujo eléctrico. La metodología está diseñada para ser aplicada en comunidades sin conocimientos avanzados en energías renovables.

**Método:** Inicialmente se diseña el sistema de energía híbrido a través del dimensionamiento con base en la adquisición de información y la caracterización energética de la comunidad educativa. La segunda fase es determinar, a través de los procesos de enseñanza, un modelo de bloques estructurales que permita abordar el diseño de un sistema de energía híbrido como herramienta didáctica. La tercera fase consiste en desarrollar el modelo de bloques estructurales para el estudio de caso del centro educativo Luis López de Mesa, estableciendo los alcances y beneficios de la metodología propuesta.

**Resultados:** A través de los recursos energéticos eólico y solar, el diseño del sistema de energía híbrido logra satisfacer el requerimiento energético y reducir el impacto ambiental negativo. A su vez, el cuerpo directivo docente manifiesta un alto interés en el componente de aprendizaje teórico-didáctico que fundamenta la propuesta metodológica de esta investigación, sustentada en el aporte de un folleto ilustrativo que funcione como herramienta didáctica.

**Conclusiones:** Evaluando la metodología se logró proporcionar una herramienta de apoyo para el desarrollo de prácticas didácticas impartidas por los docentes, fomentando y promoviendo el uso de las energías renovables en la estructuración de las mallas curriculares, aportando al crecimiento de valores humanos y ambientales en la comunidad estudiantil de básica primaria.

**Palabras clave:** didáctica, energías alternativas, herramienta de aprendizaje, metodología, sistema híbrido de energía

**Idioma:** Español

## 1. Introducción

El objetivo de este documento es mostrar el desarrollo de una metodología para diseñar un sistema de energía híbrido (SH) con enfoque didáctico, para escuelas de las zonas rurales no interconectadas o con intermitencia del flujo eléctrico. Se plantea desde una perspectiva comunitaria, con el fin de apoderar a la sociedad por medio de una mirada didáctica. Esta metodología se justifica debido a la baja penetración de este tipo de energías en estos contextos y a la falta de herramientas didácticas que permitan abordar los conceptos relacionados con las fuentes de energía, y en general con el cambio climático. Se evaluaron los resultados obtenidos por medio de un estudio de caso en el centro educativo Luis López de Mesa ubicado en el municipio de Granda (Meta, Colombia).

Según el informe de Progreso Energético del Banco Mundial, en la población global se registran 840 millones de personas sin acceso a la electricidad, de las que alrededor de 732 millones forman parte de la población rural [1], por ejemplo, en América Latina y el Caribe se estima que aún 22 millones de personas permanecen sin acceso a la energía eléctrica [2].

En Colombia, la capacidad de cobertura energética se divide entre las áreas geográficas conectadas al Sistema Interconectado Nacional (SIN), conocidas como Zonas Interconectadas (ZI) y por otro lado las Zonas No Interconectadas (ZNI), que se componen de municipios, corregimientos, localidades y caseríos no conectados al SIN [3], los cuales equivalen a un 52 % del territorio na-

cional [4]. No obstante, las ZI del país presentan en promedio 53,15 veces al año (por usuario) interrupciones en el servicio eléctrico [5]. Por lo tanto, presentándose ocasionalmente un mal servicio de energía eléctrica a causa de interrupciones o fallo en la red [6], se tiene que la Ley 143 de 1994, artículo 20, el estado tiene como objetivo básico asegurar una adecuada prestación del servicio [7] en el que se garanticen criterios de calidad, confiabilidad y seguridad.

Por otra parte, las emisiones globales de dióxido de carbono relacionadas con la generación de energía eléctrica aumentaron 1,7 % en 2018 [8], siendo el mayor aportante a estas emisiones la generación de energía por medio de combustibles fósiles. Motivados bajo la premisa de la mitigación del dióxido de carbono y la reducción de la contaminación del aire, a finales del año 2019 más de 140 países emprendieron proyectos relacionados con energía solar, hídrica y eólica para maximizar su capacidad de generación con energías renovables y diversificar su matriz energética con estos recursos [9].

Bajo el marco de la problemática medioambiental que vive el mundo, Colombia ha venido diversificando su matriz energética progresivamente, partiendo en el año 2014 con la firma de la Ley 1715 por parte del Congreso de la República, que beneficia el uso de las energías renovables, dando incentivos y reducciones de impuestos, buscando promover el desarrollo y la utilización de fuentes de energía no convencionales renovables [10].

En la implementación de los proyectos de energías renovables orientados a las comunidades, la mayoría no logra un impacto social planeado, a pesar de casos como La Guajira colombiana, en la que los sistemas que siguen operativos o funcionales poseen problemas fácticos, debido a que la comunidad que los utiliza no cuenta con la formación necesaria para realizar su mantenimiento básico in situ [11].

Una propuesta de solución a las problemáticas observadas es la apropiación de estas tecnologías por la comunidad a través de procesos educativos. La Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) por medio de la campaña nacional “Aprendiendo el uso racional de la energía eléctrica (AURE)” habla de que la educación en energías renovables es el camino para transformar la forma de producción de energía, minimizando el efecto de cambio climático e impactando a las comunidades [12].

Para lograr estos propósitos en el país, la apropiación de las energías renovables en los centros educativos rurales requiere incentivar de manera permanente la inclusión de proyectos académicos y gubernamentales [13], a fin de implementar sistemas de energía renovable para la autogeneración energética, de manera limpia y sustentable, dejando de lado poco a poco la visión del futuro inestable que plantean los combustibles fósiles [14], [15].

Así mismo, más allá de contribuir en la transición energética, los proyectos de energías renovables tienen como función adicional la apropiación de los conceptos de enseñanza energética [16], [17], que se puede incluir en los Derechos Básicos de Aprendizaje (DBA) propuestos por el Ministerio de Educación Nacional de Colombia (MEN), para fortalecer el contenido curricular de los establecimientos educativos en el país [18].

En este sentido, un estudio realizado en la última década, publicado en la revista *The American Society of Mechanical Engineers* a finales del 2011, presenta una metodología de co-diseño para el desarrollo de sistemas de energía sostenible y renovable para comunidades marginadas en la Nación Pomo Pinoleville (California, EE.UU.) con la que se logró un diseño utilizado para asegurar fondos federales y así crear viviendas que ayudarán a su autosuficiencia económica [19]. Para el 2014 se publica un artículo en la revista *Vinculando*, el cual afirma que la escuela juega un importante papel en la educación en cuanto a la protección del ambiente, por lo que propone una vinculación de la educación ambiental con el contenido de las asignaturas en los diferentes tipos de enseñanzas con miras al aprovechamiento de las energías renovables [20].

En 2016 una investigación sobre el aprovechamiento del potencial energético con biomasa forestal en el departamento de Nariño, publicada en la revista *Ingeniería Solidaria*, presentaba una metodología para el aprovechamiento de este recurso, deduciendo que es factible usar residuos forestales para la energización de zonas aisladas y así beneficiar el ambiente [21]. Para el 2018, la misma revista publica la propuesta de una solución tecnológica en el sector educativo, aportando a modelos de enseñanza-aprendizaje de las ciencias naturales a través del desarrollo de una aplicación con realidad aumentada, logrando recrear animaciones que permitieran asimilar a la comunidad estudiantil, de forma interactiva y efectiva, información de los sitios naturales y su importancia [22].

En 2020 se publica una investigación sobre el desarrollo de una metodología de construcción participativa en la revista *Brazilian Journal of Development*, que se basa en proyectos sostenibles de energía renovable comunitaria y es validada mediante la implementación de un sistema fotovoltaico para la comunidad indígena Aico (Tolima, Colombia) buscando con esta un enfoque incluyente, que posibilite el empoderamiento tecnológico de la comunidad [23].

Como se pudo observar, la literatura especializada aborda la enseñanza de energías renovables a través de metodologías participativas, sin embargo, las investigaciones orientadas hacia la producción de herramientas didácticas que permitan fortalecer y promover la enseñanza energética en una comunidad son limitadas y no reconocen las características del contexto, ni ambientales, ni los rasgos culturales, así como las normatividades vigentes.

Por tanto, la metodología planteada en este artículo surge a partir de un modelo de aprendizaje que permita explotar las funcionalidades didácticas con las que cuenta el dimensionamiento y eventual implementación de un SH. A través de la aplicación de las estrategias de energía comunitaria [21], [22] se propone una herramienta didáctica de energía escolar-didáctica que contempla la estructura de enseñanza-aprendizaje por medio de la participación directa de la comunidad estudiantil en lo que respecta a un proyecto de energía sostenible.

Se eligió el centro educativo Luis López de Mesa para el estudio de caso porque manifiesta intermitencias esporádicas en el flujo eléctrico con duración de 1 a 2 días. A pesar de estar ubicado en una ZI, en donde la empresa encargada de prestar el servicio energético EMSA tiene cobertura de 85,67 % en la cabecera municipal y 92,22 % en las zonas rurales [25] y cuenta con un indicador de confiabilidad SAIDI (tiempo de la duración de la interrupción) del periodo 2019 con valores por debajo de las 20 horas y un indicador SAIFI (frecuencia con que se da una interrupción) de aproximadamente 70 veces [5].

## 2. Metodología

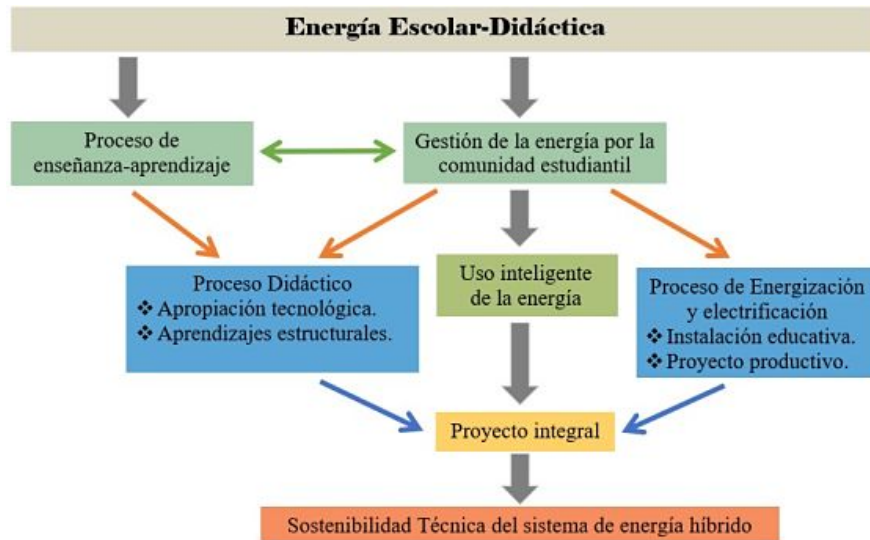
La propuesta metodológica consta de cinco fases (Figura 1) en las que se integran los aspectos técnicos y comunitarios para establecer un proyecto sostenible. Estas son:

- **Fase 1:** Reconocimiento del contexto, adquisición de la información y caracterización de la comunidad y su gestión energética a través del acompañamiento por parte de la comunidad académica en procedimientos de investigación cuantitativa y cualitativa como encuestas y cuestionarios.
- **Fase 2:** Evaluación de las alternativas energéticas por parte de la comunidad académica para estimar el potencial de energía con el que cuentan los recursos naturales aledaños a su ubicación por medio del análisis de la información publicada en bases de datos de la NASA, IDEAM o cualquier registro procedente de entidades similares.
- **Fase 3:** Dimensionamiento y diseño de un sistema de energía híbrido con los recursos energéticos de mayor potencial de generación para suplir las necesidades energéticas de la comunidad, utilizando los procedimientos de diseño técnico establecidos en literatura especializada.
- **Fase 4:** Evaluación del alcance, en la que se identifican los beneficios que se pueden lograr en la comunidad con la inclusión de las fuentes de energía renovables, como reducción de gases de efecto invernadero, abastecimiento energético o herramientas de apoyo didáctico.
- **Fase 5:** Socialización con la comunidad educativa, evaluando la metodología y exponiendo sus resultados ante el cuerpo de trabajo académico mediante sesiones informativas virtuales y/o presenciales para su futura implementación en el Proyecto Educativo Institucional (PEI).

La Figura 2. expone el diagrama de flujo de la energía escolar- didáctica en el que se articulan los componentes clave para lograr los objetivos de las fases metodológicas de la Figura 1. considerando la inclusión de energías renovables en un centro educativo, no solo desde la perspectiva técnica, sino integrando un enfoque didáctico.



**Figura 1.** Fases que constituyen la metodología para la apropiación de energías renovables en un centro educativo rural



**Figura 2.** Diagrama de flujo de la metodología de un centro educativo para la implementación de energías renovables

De esta forma, las dos primeras fases están relacionadas con la gestión de energía por la comunidad estudiantil. La tercera fase constituye el proceso de energización, mientras que la cuarta fase sustenta el proceso didáctico con el aporte en forma de componente teórico-práctico para las estrategias o modelos didácticos que apoyan el proceso de enseñanza-aprendizaje de los conceptos normatizados en los Estándares Básicos de Competencias (EBC) y los Derechos Básicos de Aprendizaje (DBA). El uso inteligente de la energía está relacionado con todas las fases de la metodología, pues la eficiencia energética es clave durante estos procesos. Finalmente, el proyecto integral se fundamenta con el logro de la quinta fase, que además argumenta el planteamiento de la sostenibilidad técnica del SH por parte de la comunidad estudiantil.

## 3. Resultados

### 3.1. Reconocimiento del contexto

En Colombia, el decreto 1860 de 1994 establece que la hoja de ruta de escuelas y colegios es el PEI, en el que se especifican las maneras o los aspectos por los cuales el centro educativo ha decidido lograr los fines de la educación [26], [27]. Una de estas maneras es la herramienta de educación formal del Proyecto Ambiental Escolar (PRAE), promulgado bajo el Decreto 1743 de 1994 [28], el cual busca motivar el progreso de estrategias investigativas y de intervención, en las que se involucra la participación y la gestión por parte de la comunidad estudiantil, desarrollando conocimientos, valores y actitudes acordes con la concientización ambiental [29].

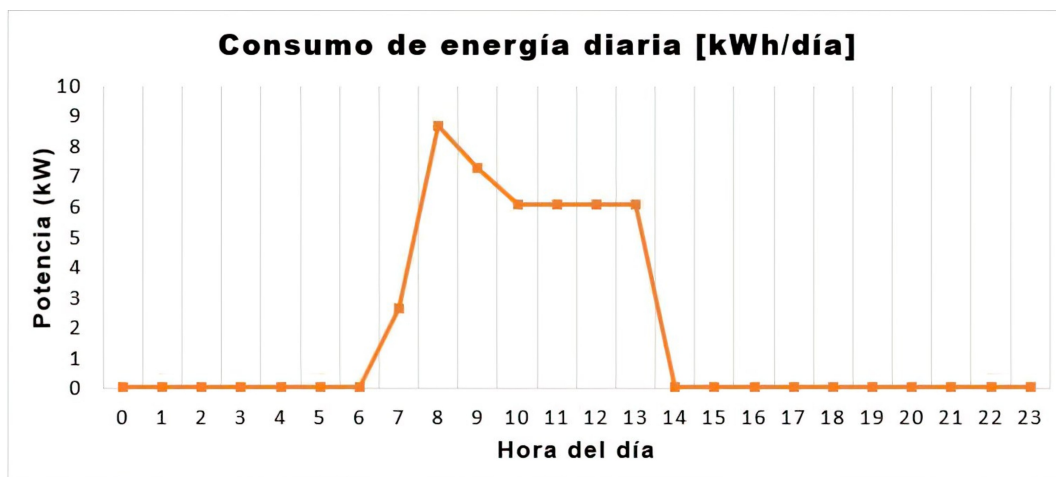
Para el estudio de caso, el centro educativo Luis López de Mesa manifiesta un enfoque de su PRAE hacia el ahorro y el cuidado del agua como recurso natural esencial para la sostenibilidad del futuro, adicionalmente otro enfoque está dirigido hacia los procesos de recolección, selección y reciclaje de residuos sólidos tales como el cartón o el plástico. Con lo que, a la fecha, el centro educativo no incluye un enfoque hacia las energías renovables, desperdiciando el potencial que pueden ofrecer en el aprendizaje energético de las generaciones venideras por medio de su aplicación como herramientas didácticas.

**Tabla I.** Cuadro de cargas eléctricas esenciales del centro educativo Luis López de Mesa

Cantidad	Cargas	Potencia equipo (W)	Potencia total (W)	Horas uso diarias	Consumo diario máximo (Wh/día)
2	Internet (Router+decodificador)	10	20	24	480
3	Refrigerador	320	960	5	4.800
28	Luminarias	50	1.400	2	2.800
34	Tomas eléctricas	150	5.100	5	25.500
1	Electrobomba	1.200	1.200	3	3.600
5	Cámaras de seguridad	5	25	24	600
<b>TOTAL</b>			<b>8.705</b>		<b>37.780</b>

Se requiere de la caracterización de las necesidades energéticas del centro educativo. Mediante un cuestionario realizado al cuerpo docente se determina el conjunto de equipos eléctricos esenciales para el desarrollo básico de las actividades académicas en el centro educativo, expuesto en la Tabla I, a fin de determinar un valor de carga instalada y el consumo de energía diario, parámetros necesarios para el dimensionamiento del SH.

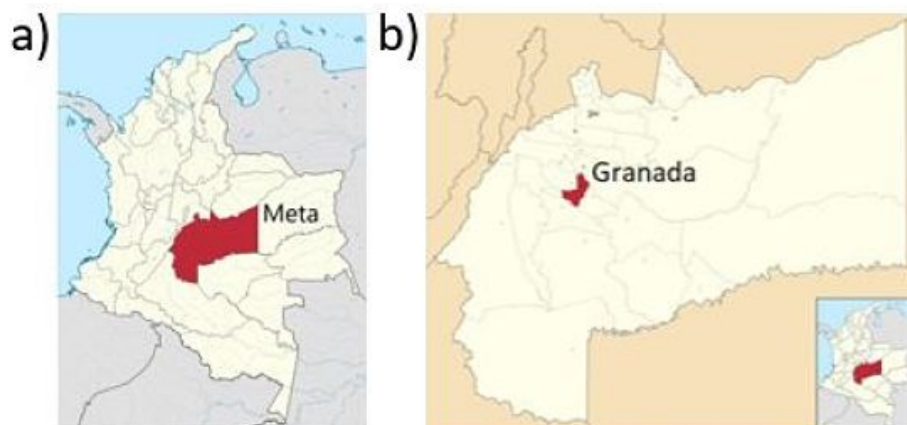
Con base en esta información y las consideraciones aportadas por las directivas del centro educativo sobre las horas del día en que se usan los equipos eléctricos, la curva del ponderado del consumo diario de energía de los equipos eléctricos esenciales para el centro educativo Luis López de Mesa se presenta en la Figura 3.

**Figura 3.** Consumo de energía diaria de los equipos eléctricos esenciales para el centro educativo Luis López de Mesa

### 3.2. Evaluación de alternativas energéticas

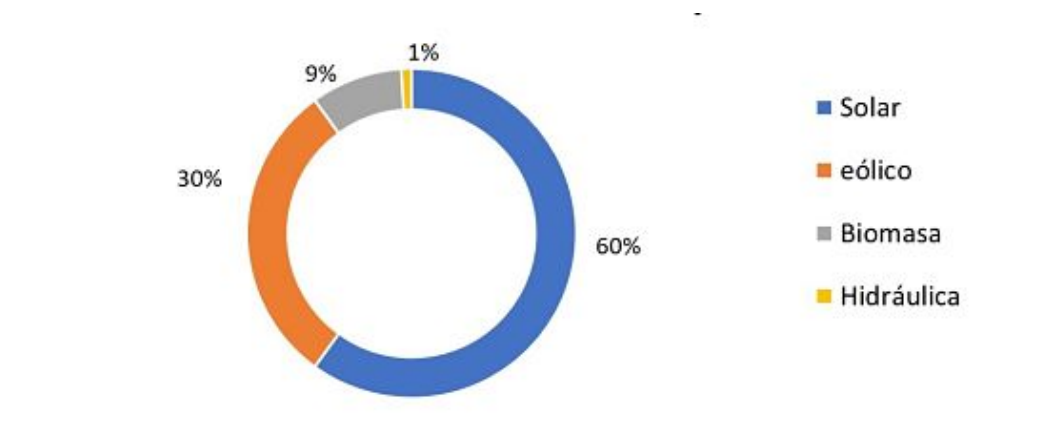
Los recursos energéticos renovables están condicionados a las variables ambientales, por ende, es necesario reconocer la climatología del emplazamiento para identificar su potencial de generación. En lo que respecta al estudio de caso, el centro educativo Luis López de Mesa se ubica en el

municipio de Granada, Meta (ver Figura 4), en el que se evaluaron los recursos eólico y solar.



**Figura 4.** Ubicación geográfica del centro educativo Luis López de Mesa. En a) departamento del Meta y en b) municipio de Granada [30]

En el caso del recurso hídrico se observó que las estaciones meteorológicas que sensan las corrientes de agua necesarias para implementar una PCH (Pequeña Central Hidroeléctrica) no se encuentran en el rango espacial adecuado, por esta razón se excluye que el recurso hídrico en este estudio. Para el recurso de biomasa, solo se tuvieron en cuenta los residuos humanos de la misma población estudiantil [31], se logra una producción de  $0,35 \text{ m}^3$  de biogás al día, este se podría utilizar para las necesidades energéticas de menor escala, como por ejemplo la cocción de alimentos. En resumen, la distribución de los recursos energéticos renovables en la institución educativa se registra en la Figura 2, donde la mayor participación es del recurso solar seguido del recurso eólico.



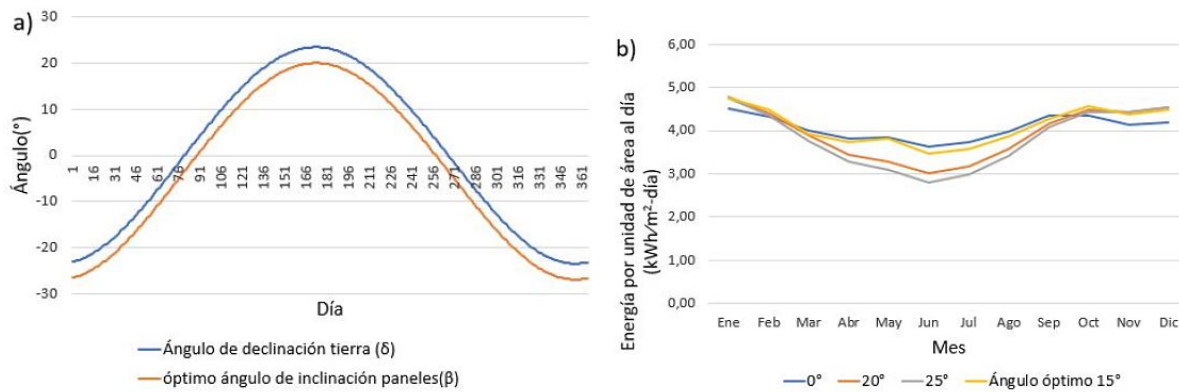
**Figura 5.** Distribución de los recursos energéticos renovables en el centro educativo

### 3.2.1. Recurso solar

El ángulo de inclinación óptimo en el estudio de caso es de  $13,15^\circ$  (ver Figura 6), pero a partir de [32], se define en  $15^\circ$  para evitar que la lluvia se acumule en los paneles solares. Posicionando los paneles solares en este ángulo de inclinación, la irradiación incidente aproximada promedio anual



es de 4,11 kWh/m<sup>2</sup>, mientras que con la superficie en inclinación de 0°, 20° o 25° se presentan valores más bajos, tal como lo expone la Figura 6.

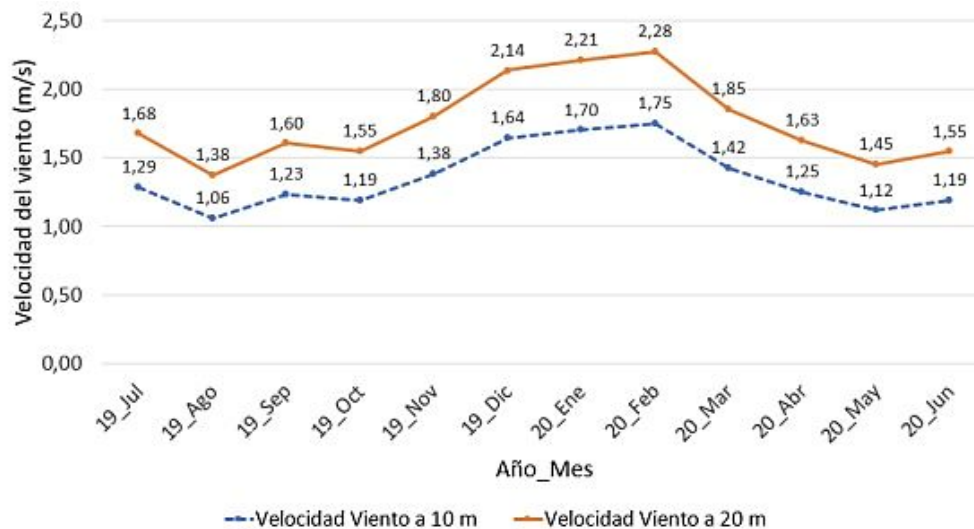


**Figura 6.** Evaluación del recurso solar. En a) ángulo de inclinación óptimo para paneles solares y en b) promedio de incidencia de radiación solar sobre superficies en Canaguaro, Meta

### 3.2.2. Recurso eólico

La curva inferior de la Figura 7. presenta la velocidad del viento mensual a 10 m de altura, con un promedio de 1,35 m/s [33], consecuencia de la presencia de obstáculos como árboles o colinas. Por lo que se hace necesario utilizar la ecuación (1), que es la fórmula logarítmica del perfil del viento establecida en [34], [35], para estimar las velocidades a una altura de 20 m, las cuales se pueden apreciar en la curva superior de la Figura 7, teniendo un promedio de velocidad de 1,76 m/s, valores apropiados para el funcionamiento de una turbina eólica.

$$v_z = v_{ref} \cdot \frac{\ln\left(\frac{Z}{Z_0}\right)}{\ln\left(\frac{Z_{ref}}{Z_0}\right)} \quad (1)$$



**Figura 7.** Velocidad del viento a 10 m (curva inferior) y 20 m (curva superior) de altura para el periodo 2019-2020

Utilizando la distribución de Weibull [36], se determinó la frecuencia de velocidades de viento entre 0,5 m/s y 5,5 m/s, a una altura de 20 m, hallando los parámetros de Weibull  $K = 1,5372$  y  $C = 2,1986$ , obteniendo la frecuencia a una velocidad determinada que se dará en un tiempo determinado. Consiguiendo así las características del viento para elegir una turbina eólica adecuada que genere la mayor cantidad de energía posible.

Los datos de frecuencia se multiplican por el número de horas que tiene un año para definir el perfil de velocidad del viento durante el periodo de junio de 2019 a julio de 2020. Además, en la rosa de viento para este periodo temporal se observa que la dirección del viento con mayor frecuencia sopla hacia el oeste noroeste, pero los vientos con mayor intensidad se presentan hacia el este (ver Figura 8).

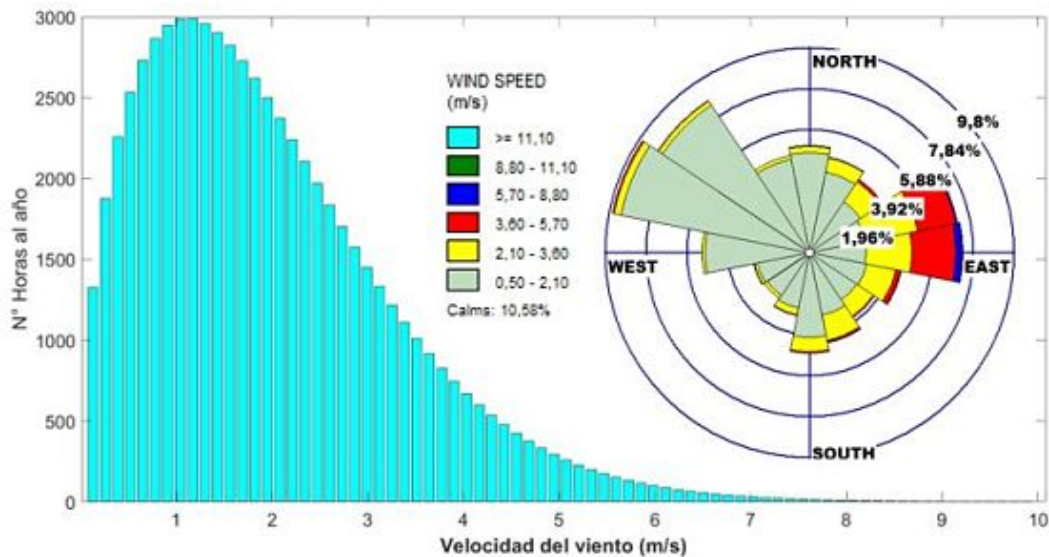


Figura 8. Distribución de Weibull en horas al año y dirección del viento en el centro educativo Luis López de Mesa

### 3.3. Dimensionamiento y diseño

Aunque el consumo de energía expuesto en la figura 3 se realiza durante cuatro horas del día, el SH funciona 24 horas y acumula la energía en el banco de baterías para suplir la carga en este periodo de tiempo. En consecuencia, se presenta a continuación el desarrollo y la selección de los cinco elementos constitutivos de la propuesta de diseño de un SH solar-eólico.

#### 3.3.1. Generador eólico

Con base en la evaluación del recurso eólico y usando la información depositada en las fichas técnicas que ofrecen diferentes fabricantes de turbinas de eje horizontal, como lo son las curvas de potencia-velocidad de viento y generación de energía mensual o anual-velocidad promedio de viento, se procede a estimar la energía que se puede obtener para una variedad de generadores ofertados en el mercado.

A continuación, se hace una comparación entre cuatro tipos de turbinas eólicas ofertadas en el mercado mundial que funcionan para las características identificadas en la evaluación del recurso eólico, que son la ANTARIS 7,5 kW, la Enair 70 PRO, la Nohana 3000 y la SunSurfs WT3 3000W.

La turbina eólica seleccionada es la de tipo SunSurfs WT3 3000W, la cual puede generar 1.588 kWh/año y cuyas especificaciones técnicas se presentan en [37]. El resumen de la energía anual que puede generar este tipo de turbina se expone en la Tabla II.

**Tabla II.** Energía y potencias de la turbina eólica SunSurfs WT3 3000W

Velocidad	Número de horas al año	Potencia (W)	Energía (kWh/año)
0,5	2.056	0	0
1,5	3.124	0	0
2,5	1.940	100	194
3,5	1.018	400	407,2
4,5	444	1.400	621,6
5,5	166	2.200	365,2
<b>Energía Anual</b>			<b>1.588</b>

### 3.3.2. Generador Solar

La selección del panel solar con mayor generación de energía bajo las condiciones solares evaluadas previamente se realiza por medio de la comparación entre los modelos de paneles solares BSM370M-72, SW450M-96, RS500M-96 y YS550M-96, ofertados en el mercado mundial y considerados para una tensión de 48 V [37].

Considerando que la temperatura media del municipio de Granada, Meta es de 24 °C [38], valor de temperatura menor al utilizado en las pruebas STC [39], pero que, bajo la diversidad de las condiciones climáticas de la zona de estudio, se estima aumente entre los 28 °C y los 30 °C. Sugiere que la generación de energía eléctrica del panel solar se reduce un 5 %.

Por tanto, la ecuación que describe la energía eléctrica capaz de generar el panel solar al día [40] para el centro educativo Luis López de Mesa se presenta en la ecuación (2):

$$E_{\text{panel\_corregida}} = 0,95 \cdot E_{\text{panel}} = 0,95 \cdot \text{Potencia pico de panel} \cdot NHE \quad (2)$$

Según [40], utilizando el ángulo de inclinación de 15° y a partir de los datos observados en la Figura 6, el parámetro NHE es de 3,46 horas al día, ya que este valor corresponde al mes cuando se presenta mayor nubosidad.

Finalmente, calculando la energía total que se genera en un año con cada opción de panel solar, se selecciona el panel solar modelo YS550M-96 con 550 Wp, capaz de generar 660 kWh/año, cuyas especificaciones técnicas se exponen en [41].

### 3.4. Requerimiento energético del centro educativo

Teniendo en cuenta que una de las tecnologías de generación eléctrica que constituyen el SH es la solar fotovoltaica, se deben considerar los factores de pérdida que influyen en el rendimiento una instalación fotovoltaica individual [42]. Por ende, utilizando el proceso de [43], se propone el parámetro de rendimiento global de instalación fotovoltaica (R) como:

$$R = (1 - K_B - K_C - K_V) \cdot \left(1 - \frac{K_A \cdot N}{P_d}\right) \quad (3)$$

Al considerar las variables que determinan el parámetro de rendimiento global de instalación fotovoltaica definidas en [44], los valores que se seleccionan para el cálculo de la ecuación (3) se toman a partir de criterios de diseño de mayor conveniencia, apoyados en [45], [46], resultando en que R sea igual al 71,10 %. De modo que el consumo energético real en términos de energía del centro educativo al año es aproximadamente 19.395 kWh/año.

#### 3.4.1. Capacidad energética del sistema de energía híbrido

A causa de que el precio en el mercado para la turbina eólica SunSurfs WT3 3000W es alrededor de 50 veces más alto que el precio para una unidad de panel solar YS550M-96, se considera la configuración 8/92 para el SH, es decir, el 8 % del consumo energético real del centro educativo se abastecerá por la turbina eólica y del 92 % restante se encargará el sistema fotovoltaico.

Bajo la mencionada configuración, se sugiere el uso de una turbina eólica SunSurfs WT3 3000W. En cuanto al número de paneles solares necesarios y su respectiva configuración eléctrica, se considera la metodología expuesta en [47] para el cálculo de paneles solares totales necesarios, resultando en que para el caso de estudio, se requieren de 28 paneles solares modelo YS550M-96.

A pesar de que [47] expone un procedimiento que permite establecer el número de paneles en serie y en paralelo, por conveniencia se considera apropiado realizar una distribución en dos subsistemas, el primero de ellos compuesto por quince paneles solares monocristalinos en paralelo de 550 Wp cada uno y de una turbina eólica de 3000 W, el segundo subsistema lo compone una conexión en paralelo de trece paneles solares monocristalinos de 550 Wp.

En la Tabla III se registra la diferencia entre la generación y el requerimiento de energía estimada para el SH, resaltando que esta diferencia de energía, que tiene un valor de 670 kWh/año, suplirá las necesidades energéticas en los días del año en que la irradiación solar disminuye por causa del clima, cuando la temperatura de operación de las celdas solares incrementa considerablemente y afecte el funcionamiento del panel [48], [49], e incluso ante una eventualidad en que la velocidad del viento esté por debajo del promedio anual.

#### 3.4.2. Sistema de acumulación de energía

Se compararon tres opciones de baterías ofertadas en el mercado (OPzS Solar 3850, A602/3920 Solar e IND17-6V), se seleccionó la batería modelo OPzS Solar 3850 con capacidad nominal de 3.850 Ah, debido a que es la batería más económica entre las opciones planteadas previamente, sus especificaciones técnicas se pueden observar en [50]. Como la tensión nominal de las baterías

**Tabla III.** Diferencia de energía generada por el sistema híbrido y la necesaria para el centro educativo

<b>Centro educativo Luis López de Mesa</b>	<b>Energía generada [kWh/año]</b>	<b>Energía requerida [kWh/año]</b>	<b>Diferencia [kWh/año]</b>
Turbina eólica	1.588	1.552	36
Sistema fotovoltaico	18.476	17.843	633
Sistema de energía híbrido	20.064	19.395	669

seleccionadas es de 2 V, se deben utilizar en serie 24 baterías para conseguir los 48 V de tensión eléctrica del sistema, precisando la necesidad de 24 baterías de 3.850 Ah de 2 V.

### 3.4.3. Controlador de carga

Utilizando los lineamientos establecidos en [47], [51], se realiza el dimensionamiento del controlador de carga para un SH eólico-solar. Se selecciona el controlador modelo Coleman Air 440-HVA, cuyas especificaciones técnicas se exponen en [52], para la unión del subsistema fotovoltaico 1 a la turbina eólica. En cuanto al subsistema fotovoltaico 2, se selecciona el controlador modelo JND-X200A con las especificaciones técnicas definidas en [53].

### 3.4.4. Inversor

Para dimensionar la capacidad del inversor en la instalación del SH se siguen los pasos mencionados en [47]. Seleccionando el inversor del fabricante Shenzhen Snat Energy Electrical Technology Co. Ltd. de modelo HF4835U80, cuyas especificaciones técnicas se observan en [54], a fin de suplir la potencia necesaria de 10.446 W.

Como resultado, en la Figura 9 se presenta el diagrama unifilar general del sistema híbrido eléctrico propuesto, donde se pueden evidenciar los dos subsistemas mencionados previamente, generando una potencia estimada con pérdidas de 14 kW.

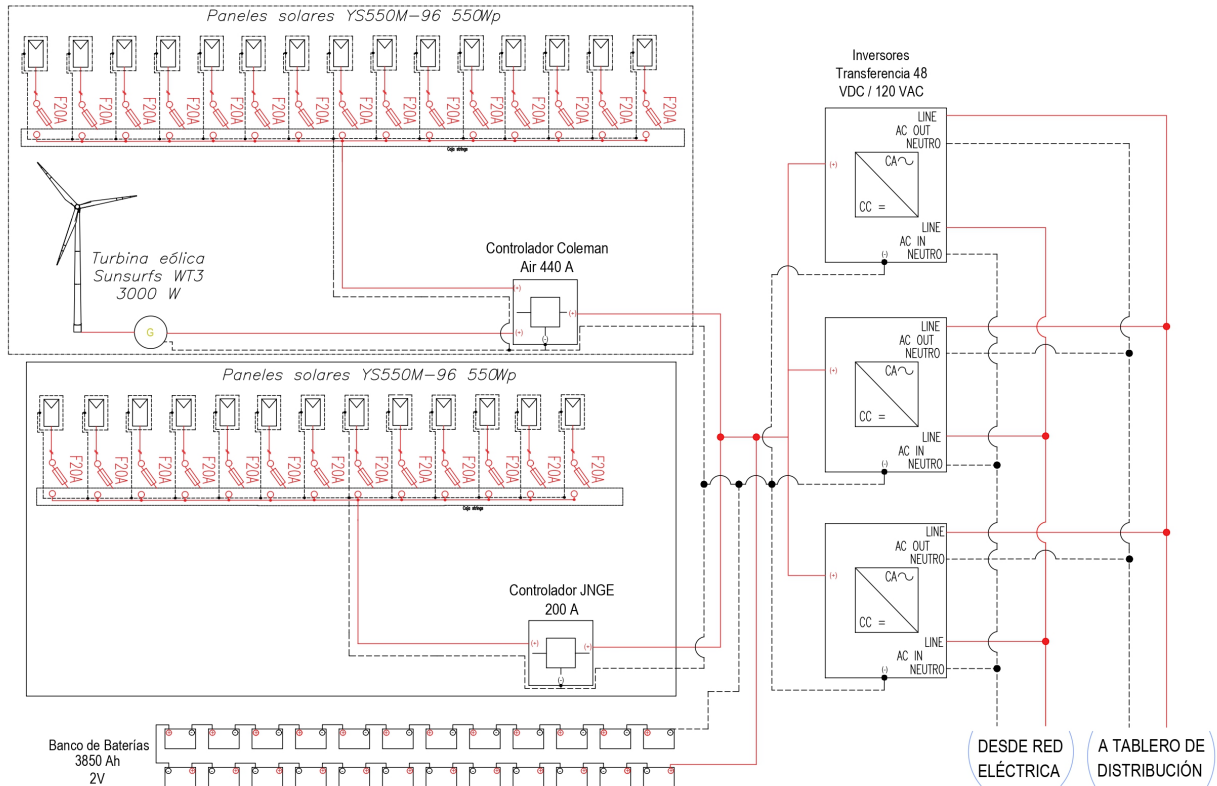
## 3.5. Evaluación del alcance

### 3.5.1. Abastecimiento energético

La eventual implementación del SH permitiría satisfacer las necesidades de consumo eléctrico cuando se registre la ausencia del servicio proporcionado por la red local, integrando estaciones de monitoreo que permitan a la comunidad estudiantil registrar visualmente y adquirir conocimientos sobre conceptos como: flujo de carga, diferencia de potencial, energía solar, energía solar fotovoltaica, energía eólica, entre otros. Esto permite una reducción de los índices de desescolarización infantil [55] y de los impactos ambientales.

### 3.5.2. Reducción de gases de efecto invernadero

El diseño del SH y su eventual implementación permiten la reducción de los gases de efecto invernadero. El cálculo del ahorro de emisiones de dióxido de carbono se realizó teniendo en cuenta



**Figura 9.** Diagrama unifilar sistema de energía híbrido diseñado para estudio de caso

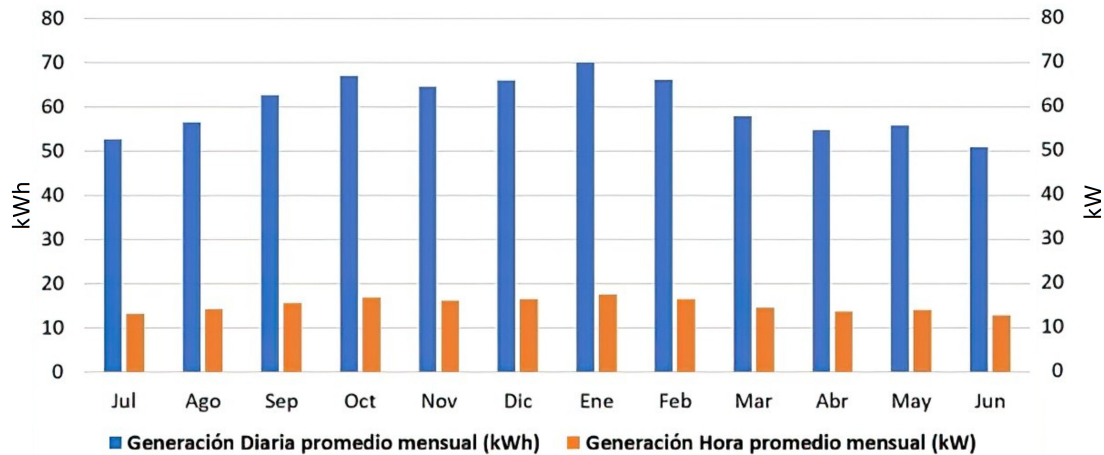
la generación de kWh que se espera del SH mes a mes, aplicando el factor marginal de emisión de gases de efecto invernadero del Sistema Interconectado Nacional, el cual según la resolución 642 de 2019 tiene un valor de 0,381 kgCO<sub>2</sub>eq por cada kWh [56].

Calculando la generación diaria promedio mensual y la generación hora promedio mensual, se representa este cálculo en la Figura 10, en donde se tiene una generación real promedio de 60,35 kWh diarios, satisfaciendo gran parte de las necesidades energéticas del centro educativo, presentando así una producción energética promedio hora de 15,08 kW en el transcurso del tiempo que opera el SH.

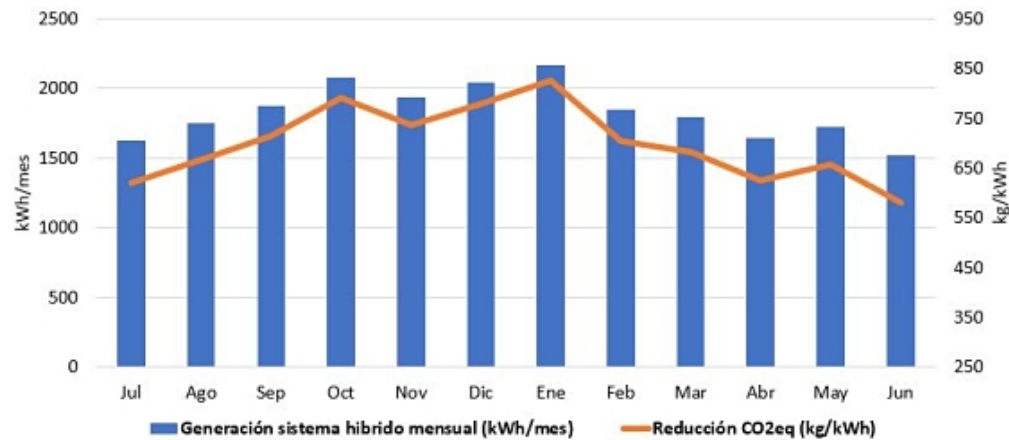
Esta generación de energía eléctrica por medio de fuentes renovables representa una reducción de dióxido de carbono en el transcurso de julio de 2019 a junio de 2020 de 838 kgCO<sub>2</sub>eq que se puede ver en la Figura 11, con un factor marginal de emisión de gases invernaderos anteriormente mencionado de 0,381 kgCO<sub>2</sub>eq por cada kWh.

### 3.5.3. Recurso didáctico

Como recurso didáctico, el diseño de un SH forma parte de la necesidad de adecuación de la formación académica a las exigencias ambientales de la actualidad, cuya percepción es positiva cuando se le mira desde las perspectivas de lo instituido e instituyente [57].



**Figura 10.** Generación real sistema híbrido eléctrico del centro educativo Luis López de Mesa



**Figura 11.** Generación sistema híbrido en kWh mensual y reducción emisiones de CO<sub>2</sub>eq ligado a la electricidad (kWh)

Es así que dentro del proceso didáctico se procedió a un acercamiento a la institución educativa mediante un folleto ilustrativo, en donde se explican las diferentes fuentes de energías renovables que se encuentran cerca de su comunidad, así como también de la metodología con los resultados arrojados en cada fase, obteniendo una correcta apropiación de este tipo de tecnologías por parte de la comunidad educativa Luis López de Mesa, generando sensibilización y creando una cultura sobre el cuidado del ambiente.

### 3.6. Socialización con la comunidad

Se presentaron los resultados obtenidos en las anteriores fases por medio de una reunión virtual entre los autores de esta investigación con el cuerpo directivo docente y el docente en el área de ciencias naturales del Centro Educativo Luis López de Mesa. El personal de la institución educativa expresó un notable interés sobre el tema tratado en este artículo, y que en mayor medida le ha llamado la atención el componente teórico y didáctico que fundamenta la metodología, por otro lado, afirma que conoce proyectos sostenibles en municipios cercanos, pero que no cuentan con el impacto social suficiente para la comunidad.

Las directivas del centro educativo hacen un llamado de atención sobre lo que es el costo de la energía, el cual es muy alto, siendo ellos tipo 6, es decir, el máximo en la escala, igualmente manifestaron que debería ser, al contrario, ya que ellos no generan recursos, más bien los gastan, y es que el valor generado por ellos está en el resultado del proceso de la didáctica, en el valor del aprendizaje.

Adicionalmente, resaltan el papel de las universidades públicas, en especial la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, respecto a investigaciones técnico-científicas que integran a las instituciones de educación básica y media de carácter rural, a fin de contribuir con su desarrollo social y tecnológico.

## 4. Discusión y conclusiones

Se elaboró una metodología para el diseño de un sistema de energía híbrido con enfoque didáctico que consta de las siguientes fases: reconocimiento del contexto, evaluación de alternativas energéticas, dimensionamiento y diseño, alcance del diseño, y socialización con la comunidad. Se evaluó en el centro educativo Luis López de Mesa, ubicado en el poblado de Canaguaro, Granada (Meta, Colombia), logrando proporcionar una herramienta de apoyo para el desarrollo de prácticas didácticas impartidas por los docentes, fomentando y promoviendo el uso de las energías renovables en la estructuración de las mallas curriculares, aportando al crecimiento de valores humanos y ambientales en la comunidad estudiantil de básica primaria.

El modelo de energía escolar-didáctica propuesto en la metodología elaborada y evaluado en el estudio de caso, puede ser replicado en variedad de instituciones educativas rurales, en las que se promulguen la aplicación de proyectos sostenibles a fin de fortalecer e incentivar el cuidado medioambiental a temprana edad; sin embargo, se plantea que este tome características dinámicas y sea capaz de adaptarse a las circunstancias propias de cada proyecto en caso de que se requiera.

El diseño del sistema eléctrico híbrido propuesto para el centro educativo Luis López de Mesa sugiere una reducción significativa de GEI de 838 kgCO<sub>2</sub>eq, y adicionalmente es capaz de suplir los requerimientos energéticos esenciales de la institución, en función de reducir las franjas horarias en que no se dispone del suministro por parte de la red local.

Los resultados depositados en [58] hacen referencia a que la participación de las comunidades que pertenecen a las zonas rurales del país es un factor determinante para lograr una transferencia de conocimiento, la cual puede llevar al desarrollo de proyectos energéticos sostenibles; de igual manera, los resultados expuestos en este artículo evidencian que la aplicación de metodologías y modelos de aprendizaje fundamentados en energías renovables que incluyen la participación de la comunidad académica contribuyen al desarrollo de habilidades para el manejo de proyectos energéticos sostenibles, aportando estrategias para la transferencia de conocimiento en zonas rurales del país.

Para futuras investigaciones se recomienda llevar a cabo una etapa posterior a la metodología propuesta en este artículo, que es la parte de alternativas financieras (tasa interna de retorno), a fin de crear una cooperativa a través de las juntas de acción comunal, para que el sistema no solo



sirva al colegio, sino que tenga ligados sectores productivos propios de la comunidad. Además, se puede orientar la metodología hacia el diseño y el dimensionamiento de otros tipos de soluciones energéticas, tales como la iluminación LED inteligente [59], los sensores inalámbricos para el control eficiente del uso energético [60] o las técnicas de iluminación natural pasiva [61].

## Referencias

- [1] IEA, IRENA, UNSD, WB, and WHO, *Tracking SDG 7: The Energy Progress Report 2019*, Washington, DC, USA, The World Bank Group, 2019. [Online]. <https://trackingsdg7.esmap.org/data/files/download-documents/2019-TrackingSDG7-FullReport.pdf> ↑2
- [2] Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, *Subastas de energía renovable y proyectos ciudadanos participativos: América Latina y el Caribe*, París, Francia, REN21, 2017. [En línea]. [https://www.wearefactor.com/docs/LAC\\_REN21.pdf](https://www.wearefactor.com/docs/LAC_REN21.pdf) ↑2
- [3] D. C. Roa Fierro y D. M. Gómez Acuña, *Implementación de proyectos de generación eléctrica a partir de fuentes no convencionales de energía renovable en zonas no interconectadas: estudio de caso (Puerto Carreño - Vichada)* (Tesis de Especialización), Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia, 2019. [En línea]. <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/24610> ↑2
- [4] Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para Zonas No Interconectadas, “FAQ - Información institucional”, IPSE. [En línea]. <http://www.ipse.gov.co/transparencia-y-acceso-a-informacion-publica/informacion-de-interes2/preguntas-frecuentes/2-uncategorised/83-preguntas-frecuentes-2#faqnoanchor> ↑3
- [5] Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, “Evaluación de la gestión año 2019”, Departamento Nacional de Planeación, Bogotá, Colombia, 2019. [En línea]. ↑3, 4
- [6] L. Y. Serna Duque, S. Pérez Cuartas y P. A. Aristizábal Alzate, *Análisis con base en la falla del servicio público de energía en Colombia y consecuencias en su economía*, (Tesis de Especialización), Universidad Libre Seccional Pereira, Pereira, Colombia, 2016. [En línea]. <https://hdl.handle.net/10901/16796> ↑3
- [7] Congreso de la Republica de Colombia, “Ley 143 de 1994”, D. Of., No. 41.434, 12 de julio, pp. 1-34, 1994. [En línea]. [https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/667537/Ley\\_143\\_1994.pdf](https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/667537/Ley_143_1994.pdf) ↑3
- [8] IEA, *Global Energy & CO2 Status Report 2019*, International Energy Agency, France, 2019. [Online]. <https://www.iea.org/reports/global-energy-co2-status-report-2019> ↑3
- [9] Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, *Renewables 2020 Global Status Report*, París, France, REN21, 2020. [Online]. [https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr\\_2020\\_full\\_report\\_en.pdf](https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2020_full_report_en.pdf) ↑3
- [10] Congreso de la Republica de Colombia, “Ley 1715 de 2014”, D. Of., No. 49.150, 13 de mayo, pp. 1-16, 2014. [En línea]. [http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley\\_1715\\_2014.html](http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1715_2014.html) ↑3
- [11] A. N. Figueroa Cuello, *Determinantes de la aceptación social de las tecnologías energéticas renovables desde la perspectiva del usuario líder en La Guajira - Colombia*, (Tesis de Maestría), Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, Colombia, 2019. [En línea]. <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/4924> ↑3
- [12] Cepal, OLADE, BMZ, GTZ, *Situación y perspectivas de la eficiencia energética en América Latina y El Caribe*, Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2009. [En línea]. [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/3726/S2007033\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/3726/S2007033_es.pdf) ↑3
- [13] N. E. Hernández Rueda y A. X. Ramírez Contreras, *Estudio sobre la sustitución por Energías Renovables (solar fotovoltaica) en las instituciones educativas de básica primaria y secundaria en Colombia: análisis y posibilidades* (Trabajo de Grado), Universidad Santo Tomás, Bucaramanga, Colombia, 2015. [En línea]. <https://hdl.handle.net/11634/1071> ↑3
- [14] L. V. Guerrero Ayala, *Revisión de las energías alternativas aplicadas en colegios y su influencia en la educación ambiental colombiana* (Tesis de Especialización), Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia, 2017. [En línea]. <http://hdl.handle.net/10654/16415> ↑3
- [15] M. Tostado-Véliz, P. Arévalo, and F. Jurado, “A comprehensive electrical-gas-hydrogen Microgrid model for energy management applications”, *Energy Convers. Manag.*, vol. 228, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113726> ↑3

- [16] J. A. Niño-Vega, F. H. Fernández-Morales y J. E. Duarte, “Diseño de un recurso educativo digital para fomentar el uso racional de la energía eléctrica en comunidades rurales”, *Saber, Ciencia y Libertad*, vol. 14, no. 2, pp. 256-272, 2019. <https://doi.org/10.18041/2382-3240/saber.2019v14n2.5889> ↑3
- [17] E. G. Merritt, N. Bowers, and S. E. Rimm-Kaufman, “Making connections: Elementary students’ ideas about electricity and energy resources”, *Renew. Energy*, vol. 138, pp. 1078-1086, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.02.047> ↑3
- [18] Ministerio de Educación Nacional, “Documento para la implementación de los DBA”, Gobierno de Colombia, Bogotá, Colombia, 2017. [En línea]. [https://www.academia.edu/37346651/Documento\\_para\\_la\\_implementaci%C3%B3n\\_de\\_los\\_DBA\\_PRESENTACI%C3%93N\\_GENERAL\\_Y\\_POR\\_%C3%81REAS](https://www.academia.edu/37346651/Documento_para_la_implementaci%C3%B3n_de_los_DBA_PRESENTACI%C3%93N_GENERAL_Y_POR_%C3%81REAS) ↑3
- [19] R. Shelby, Y. Perez, and A. Agogino, “Co-design methodology for the development of sustainable and renewable energy systems for underserved communities: A case study with the pinoleville Pomo Nation”, in *ASME 2011 Int. Des. Eng. Tech. Conf. Comput. Inf. Eng. Conf.*, Washington, DC, USA, pp. 515-526, 2011. <https://doi.org/10.1115/DETC2011-47748> ↑4
- [20] A. del C. Miranda López, “Educación ambiental en el proceso de enseñanza-aprendizaje en primaria, secundaria y preuniversitario”, *Vinculando*, 2014. [En línea]. <https://vinculando.org/ecologia/educacion-ambiental-en-el-proceso-de-ensenanza-aprendizaje-en-primaria-secundaria-y-preuniversitario.html> ↑4
- [21] A. D. Pantoja Bucheli, J. C. Guerrero Ordoñez y J. F. Castillo Muñoz, “Metodología para el aprovechamiento de potencial energético con biomasa forestal en el departamento de Nariño: caso de estudio”, *Ing. Solidaria*, vol. 12, no. 20, pp. 43-59, 2016. <https://doi.org/10.16925/in.v19i20.1415> ↑4
- [22] L. E. Muñoz-Arracera y R. Montenegro-Santos, “Uso de la realidad aumentada en la enseñanza- aprendizaje de ciencias naturales”, *Ing Solidaria*, vol. 14, no. 24, pp. 1-9, 2018. <https://doi.org/10.16925/in.v14i24.2155> ↑4
- [23] I. Q. Mendoza, C. I. Buritica Arboleda, N. L. Rondón Flórez y J. S. Bedoya Fierro, “Metodología para el proyecto sostenible de energía comunitaria en la comunidad indígena Aico en Tolima - Colombia”, *Brazilian J. Develop.*, vol. 6, no. 10, pp. 74182-74202, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n10-009> ↑4
- [24] D. M. López-Valentín, M. T. Guerra-Ramos y L. G. Pulido-Córdoba, “Enseñanza de la energía eléctrica en educación primaria: desarrollo de una unidad didáctica”, *Enseñanza de las ciencias: Rev. Investig. Exp., Didác.*, no. extra, pp. 2002-2007, 2013. [En línea]. <https://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/307674> ↑
- [25] C. A. Guevara Páez, *Caracterización de la infraestructura tecnológica, las organizaciones y el apoyo institucional en la agroindustria de los municipios de Granada, Fuente de Oro y el Castillo-Meta para los Planes de Energización Rural Sostenibles-Pers: una opción para el desarrollo rural productivo* (Trabajo de Grado), Universidad de los Llanos, Villavicencio, Colombia, 2019. [En línea]. <https://repositorio.unillanos.edu.co/handle/001/1333> ↑4
- [26] Presidencia de la República de Colombia, “Decreto 1860 de 1994”, *D. Of.*, no. 41.473, 5 de agosto, pp. 1-29, 1994. [En línea]. [https://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-172061\\_archivo\\_pdf\\_decreto1860\\_94.pdf](https://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-172061_archivo_pdf_decreto1860_94.pdf) ↑6
- [27] Ministerio de Educación Nacional, “Proyecto Educativo Institucional - PEI”, MEN. <https://www.mineducacion.gov.co/1621/article-79361.html> ↑6
- [28] Presidencia de la República de Colombia, “Decreto 1743 de 1994”, *D. Of.*, no. 41.476, 5 de agosto, pp. 1-8, 1994, [En línea]. <http://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Decretos/1342748> ↑6
- [29] Ministerio de Educación Nacional, “Educación Ambiental”, *Altablero*, no. 36, agosto - septiembre 2005. <https://www.mineducacion.gov.co/1621/propertyvalue-31665.html> ↑6
- [30] El Meta Turístico, “El Meta, la magia del Llano”, El Meta Turístico. [En línea]. <https://elmetaturistico.wordpress.com/geografia/> ↑8
- [31] J. Martí Herrero, *Biodigestores familiares. Guía de diseño y manual de instalación*, La Paz, Bolivia: GTZ-Eneqía, 2008. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1048.6242> ↑8
- [32] C. L. Trujillo Rodríguez et al., “Capítulo 3. Medición recurso solar para aplicaciones fotovoltaicas y térmicas”, en *Microrredes eléctricas*, Bogotá, Colombia: Editorial UD, 2015, pp. 47-59. ↑8
- [33] Datos Abiertos Colombia, “Velocidad Viento”, *Gestión de datos y red meteorológica*, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2019. [En línea]. <https://www.datos.gov.co/Ambiente-y-Desarrollo-Sostenible/Velocidad-Viento/sqfv-3yp8> ↑9

- [34] J. M. Guevara Díaz, “Cuantificación del perfil del viento hasta 100 m de altura desde la superficie y su incidencia en la climatología eólica”, *Terra*, vol. 29 no. 46, 2013. [En línea]. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1012-70892013000200006&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1012-70892013000200006&lng=es&nrm=iso&tlng=es) ↑9
- [35] D. Abramkina, and K. Agakhanova, “Consideration of wind speed changes in the design of ventilation systems for high-rise buildings”, *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, 2019. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/661/1/012131> ↑9
- [36] A. K. Nayak, and K. B. Mohanty, “Analysis of wind characteristics using ARMA & Weibull distribution”, 2018 *National Power Eng. Conf. (NPEC)*, 2018. <https://doi.org/10.1109/NPEC.2018.8476717> ↑10
- [37] SolarStore, “Roof Mount 3000w (3 kw) Vertical Axis Wind Turbine”, Sun-Surfs Solar Online Store, 2021. [Online]. [https://www.solarstore.co/Roof-Mount-3000w-3-kw-Vertical-Axis-Wind-Turbine-\\_p\\_13.html](https://www.solarstore.co/Roof-Mount-3000w-3-kw-Vertical-Axis-Wind-Turbine-_p_13.html) ↑11
- [38] L. P. Gómez Hastamorir, “Situación actual de Granada Meta en relación a la salud pública y los daños medioambientales”, *Boletín Semillas Ambientales*, vol. 11, no. 1, pp. 40-60, 2017. [En línea]. <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/bsa/article/view/12232> ↑11
- [39] E. Rúa-Ramírez, I. Mendoza-Jiménez, E. Torres-Suarez, E. Flórez-Serrano y J. Serrano-Rico, “Banco de pruebas didáctico para aprendizaje y medición del rendimiento de paneles solares fotovoltaicos”, *UIS Ing.*, vol. 20, no. 2, pp. 1-9, 2021. <https://doi.org/10.18273/revuin.v20n2-2021001> ↑11
- [40] J. C. Chávez Soto, and J. P. Medina Sánchez, “Estudio y dimensionamiento de un sistema híbrido eólico solar para el alumbrado de las vías y el cerco perimétrico del campus universitario de la Universidad Nacional del Santa (Tesis)”, Universidad Nacional del Santa, Chimbote, Perú, 2014. [En línea]. <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/UNS/1929> ↑11
- [41] Yangtze Power, “Yangtze 96 Cells 48V China 500W-550W Solar Panel”, Yangtze Solar Power Online Store, 2021. [Online]. <https://yangtze-power.en.made-in-china.com/product/ydnJOSgjAmhp/China-Yangtze-96-Cells-48V-China-500W-550W-Solar-Panel.html> ↑11
- [42] A. B. Llamuca Landa y A. X. Caisaguano Moreano, “Control y monitoreo de un sistema de generación de energía eléctrica con paneles solares para el alumbrado público en la Facultad de Informática y Electrónica (Tesis)”, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2016. [En línea]. <http://dspace.espacech.edu.ec/handle/123456789/6127> ↑12
- [43] E. J. Contreras Barahona y W. A. Piragauta Castañeda, “Diseño de planta fotovoltaica en el campus de la Universidad Cooperativa de Colombia sede Villavicencio Meta, Colombia (Trabajo de Grado)”, Universidad Cooperativa de Colombia, Villavicencio, Colombia, 2018. [En línea]. <http://hdl.handle.net/20.500.12494/4181> ↑12
- [44] C. R. Prado Mora, “Diseño de un sistema eléctrico fotovoltaico para una comunidad aislada” (Tesis), Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, 2008. ↑12
- [45] S. C. Rodríguez Oliva, “Inversor para panel solar” (Trabajo de Grado), Universidad de la Laguna, San Cristóbal de La Laguna, España, 2019. [En línea]. <http://riull.ull.es/xmlui/handle/915/16545> ↑12
- [46] W. E. Lindao Suárez, “Propuesta de diseño de un sistema de energía solar fotovoltaica. Caso de aplicación en casa comunal de Cooperativa Los Paracaidistas en la ciudad de Guayaquil”, Universidad Católica de Santiago, Guayaquil, Ecuador, 2020. [En línea]. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/14365> ↑12
- [47] H. J. Correa Montenegro y V. J. Gonzáles Silva, “Diseño de un Sistema fotovoltaico autónomo para la generación de energía eléctrica en la Institución Educativa N°287 de la Comunidad Nativa Villa Gonzalo, Distrito Río Santiago, Provincia Condorcanqui, Departamento de Amazonas” (Tesis), Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Perú, 2018. [En línea]. <https://hdl.handle.net/20.500.12893/2198> ↑12, 13
- [48] C. A. Robles Algarín, “Sistemas híbridos: una estrategia para mejorar la eficiencia en los paneles solares”, *Ing. Solidaria*, vol. 7, no. 12-13, pp. 62-67, 2011. [En línea]. <https://revistas.ucc.edu.co/index.php/in/article/view/357> ↑12
- [49] B. Sreewirote, A. Noppakant, and C. Pothisarn, “Increasing efficiency of an electricity production system from solar energy with a method of reducing solar panel temperature”, 2017 *Int. Conf. on Applied System Innovation (ICASI)*, pp. 1308-1311, 2017. <https://doi.org/10.1109/ICASI.2017.7988141> ↑12
- [50] Lidarsolar, “Batería Classic OPzS Solar 3850. 3765 Ah/C-100 2v”, Lidarsolar Online Store, 2021. [En línea]. [https://www.lidarsolar.es/epages/940338785.sf/es\\_ES/?ObjectPath=/Shops/940338785/Products/AE376510](https://www.lidarsolar.es/epages/940338785.sf/es_ES/?ObjectPath=/Shops/940338785/Products/AE376510) ↑12
- [51] F. C. Palma Tomás, “Abastecimiento energético de una vivienda aislada de la red” (Trabajo de Grado), Uni-

- versidad Politécnica de Valencia, Valencia, España, 2017. [En línea]. <https://riunet.upv.es/handle/10251/74833> ↑13
- [52] Coleman Air, “Coleman Air C440-HVA 440 Amp 12/24/48V Volt Wind/Solar Battery Charge Controller”, Coleman Air Online Store, 2021. [Online]. [https://www.colemanair.us/vp\\_asp/scripts/shopexd.asp?id=650](https://www.colemanair.us/vp_asp/scripts/shopexd.asp?id=650) ↑13
- [53] AliExpress, “JNGE-controlador de carga Solar sin conexión a la red, regulador Solar para sistema de energía Solar, 200A”, *AliExpress Online Store*, 2021. [En línea]. <https://es.aliexpress.com/item/32832031998.html?spm=a219c.12057483.0.0.51662dalrbi6lk> ↑13
- [54] AliExpress, “Inversor de potencia Solar sin red, 3500W, 48V, 30a, regulador Solar MPPT, 48V CC a 110V/120V CA, 50hz, 60hz, inversor UPS”, AliExpress Online Store, 2021. [En línea]. <https://es.aliexpress.com/item/4000211886178.html> ↑13
- [55] K. J. Huérfano Rodríguez y M. C. Gómez Contreras, “Dimensionamiento e implementación de un sistema híbrido eólico - solar fotovoltaico para abastecimiento de energía eléctrica en la institución Luis Carlos Galán de Cazucá, Soacha” (Trabajo de Grado), Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia, 2020. [En línea]. <http://hdl.handle.net/11634/30293> ↑13
- [56] Unidad de Planeación Minero Energética UPME, “Resolución 642 de 2019”, *D. Of.*, no. 51.179, 27 de diciembre, pp. 1-3, 2019. [En línea]. [https://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/resolucion\\_upme\\_0642\\_2019.htm](https://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/resolucion_upme_0642_2019.htm) ↑14
- [57] J. E. Barrantes Clavijo, F. D. Salgado Martínez y D. J. Rodríguez Patarroyo, *Educación occidental... ¿o educación propia? Un dilema. Análisis de prácticas pedagógicas en el departamento de Guainía*, Bogotá, Colombia: Sociedad Colombiana de Pedagogía, 2019. ↑14
- [58] M. Bueno López y P. Rodriguez-Sanchez. “Apropiación del conocimiento en proyectos energéticos a pequeña escala: factor clave para el desarrollo sostenible”. En *V Foro Bienal Iberoamericano de Estudios del Desarrollo*. [En línea]. [https://www.researchgate.net/publication/332333547\\_Apropiacion\\_del\\_conocimiento\\_en\\_proyectos\\_energeticos\\_a\\_pequena\\_escala\\_factor\\_clave\\_para\\_el\\_desarrollo\\_sostenible](https://www.researchgate.net/publication/332333547_Apropiacion_del_conocimiento_en_proyectos_energeticos_a_pequena_escala_factor_clave_para_el_desarrollo_sostenible) ↑16
- [59] D. J. Rodríguez Patarroyo, I. F. Cely Garzón, and C. A. Letrado Forero, “Revision of smart street lighting LED”, *Ing. Solidaria*, vol. 15, no. 28, pp. 1-28, 2019. <https://doi.org/10.16925/2357-6014.2019.02.09> ↑17
- [60] J. Blanco, A. García, and J. De las Morenas, “Design and implementation of a wireless sensor and actuator network to support the intelligent control of efficient energy usage”, *Sensors*, vol. 18, no. 6, pp. 1-16, 2018. <https://doi.org/10.3390/s18061892> ↑17
- [61] B. J. Al-Khatatbeh and S. N. Ma'bdeh, “Improving visual comfort and energy efficiency in existing classrooms using passive daylighting techniques”, *Energy Proc.*, vol. 136, pp. 102-108, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.10.294> ↑17

---

### Diego Alejandro Zambrano Joya

Estudiante de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ingeniería, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. Actualmente pertenece al semillero LIFAE (Laboratorio de Investigación de Fuentes Alternativas de Energía) en la misma institución universitaria. Correo electrónico: dazambranoj@correo.udistrital.edu.co

---

### David Leonardo Rodríguez Salazar

Estudiante de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ingeniería, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. Actualmente pertenece al semillero LIFAE (Laboratorio de Investigación de Fuentes Alternativas de Energía) en la misma institución universitaria. Correo electrónico: dlrodriguez@correo.udistrital.edu.co

---

### Diego Julián Rodríguez Patarroyo

Doctor en Ingeniería de Ciencia y Tecnología de Materiales, Universidad Nacional de Colombia; Magíster en Física, Universidad Nacional de Colombia; docente de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Investigador del semillero LIFAE (Laboratorio de Investigación de Fuentes Alternativas de Energía). Correo electrónico: djrodriguez@udistrital.edu.co