



# Modelado de un sistema solar fotovoltaico para el Colegio del Bosque Bilingüe UAN

Andrés Camilo Zárate Mahecha <sup>a</sup>

Didier Camilo Sierra <sup>b</sup>

## Resumen

Esta investigación surge para estudiar la viabilidad de un sistema de energía no convencional para el Colegio del Bosque Bilingüe UAN; esto con el fin de lograr un ahorro de energía y uso eficiente de la misma. Se buscó involucrar a la comunidad educativa de la institución para trabajar de manera proactiva y conjunta desde diferentes enfoques académicos, por lo que el proyecto se dividió en tres etapas.

La primera etapa contó con un diagnóstico sobre la zona de influencia, lo cual permitió efectuar la elección del sistema que se adaptara a las condiciones y requerimientos del proyecto; la segunda, constó de la evaluación, modelación y simulación del sistema mediante el software PVsyst. Para la tercera etapa se socializó con la comunidad educativa a través de herramientas didácticas sobre la importancia de este tipo de sistemas como aporte a la sostenibilidad, el cambio climático y la reducción de la huella ecológica.

Por último, en la modelación y simulación, se logró un ahorro anual del 16 % del total de la demanda energética de la institución; este modelo está conectado a la red *on-grid*, lo que reduce significativamente los costos. El modelo base se entregó a la institución para seguir en la búsqueda y abastecer el total de su demanda en un futuro.

**Palabras clave:** energías renovables; energía solar fotovoltaica; paneles solares; modelación y simulación; sistemas *on-grid*.

## Abstract

This research work comes up with the aim of studying the feasibility of a non-conventional energy system for “Colegio del Bosque Bilingüe UAN”, this in order to achieve savings and efficient use of it, which looks to involve the educational community of the institution to work proactively and jointly from different academic approaches, the project was divided into three stages.

---

a Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Antonio Nariño. Sede Bogotá, Colombia. [azarateo@uan.edu.co](mailto:azarateo@uan.edu.co)

b Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Antonio Nariño. Sede Bogotá, Colombia. [dsierra23@uan.edu.co](mailto:dsierra23@uan.edu.co)

The first stage included a diagnosis of the area of influence, which allowed the selection of the system that would adapt to the conditions and requirements of the project; the second stage consisted of the evaluation, modeling and simulation of the system using PVsyst software; in the third stage, the importance of this type of systems and how they contribute to sustainability, climate change and the reduction of the ecological footprint was socialized with the educational community using didactic tools.

Finally, by performing the modeling and simulation with which an annual savings of 16% of the total energy demand of the institution is achieved, this model is connected to the on-grid network, which significantly reduces costs, in addition to this, the base model is delivered to the institution, which allows to continue and supply the total demand of the educational institution in the future.

**Keywords:** renewable energies; photovoltaic solar energy; solar panels; modeling and simulation; on-grid systems.

## Introducción

La electricidad ha sido el motor principal de la economía, es esencial en nuestra cotidianidad y está relacionada directamente con la calidad de vida[1]. Bajo ese contexto, el presente trabajo surgió con el fin de evaluar sistemas de energía amigables con el medio ambiente, viables tanto técnica como económicamente a mediano y largo plazo y que puedan emplearse como herramienta pedagógica que permita desarrollar diferentes espacios académicos de aprendizaje y debate entre la comunidad educativa en el Colegio del Bosque Bilingüe UAN. Se busca también proponer un mecanismo para satisfacer la demanda de energía reduciendo la huella de carbono en la

institución, dado que los métodos y procesos de generación convencionales son altamente contaminantes, tienen un impacto ambiental y social de gran magnitud y, en muchos casos, llegan a ser ineficientes [2].

Las energías alternativas han estado en el foco de la discusión en nuestra sociedad, pues a la fecha las fuentes tradicionales de la misma son en gran parte ineficientes y altamente contaminantes, lo que ha provocado gran afectación al medio ambiente y ha llevado al planeta a un estado preocupante, el conocido como “cambio climático”. Actualmente debido a los diferentes avances, el aumento en la población global, sumados a la creciente demanda de productos y servicios provocado por una sociedad cada vez más dependiente de la tecnología, se ha producido un aumento en el consumo de energía eléctrica que, según datos de la ONU, es gran responsable de la contaminación y emisión de gases de efecto invernadero (GEI) dado que el 60% de la generación eléctrica procede de combustibles fósiles con lo cual, actualmente, el sector encargado de su suministro es responsable en un 35 % de la emisión total de GEI a nivel mundial [3].

La energía solar presenta el potencial más alto entre las diferentes fuentes de generación renovables dado que es un recurso inagotable y puede brindar independencia energética, aunque hay que tener en cuenta factores como latitud, variación diurna, clima y variaciones geográficas, que modulan la intensidad solar necesaria para obtener la mayor eficiencia de estos sistemas; diferentes estudios han demostrado que las condiciones más favorables para la producción de energía fotovoltaica después de África se encuentra en Australia, Estados Unidos, áreas adyacentes de México, y regiones en América del Sur [4]. En ese contexto, en Colombia los sistemas fotovoltaicos podrían ser una alternativa para las Zonas No Interconec-

tadas con el Sistema Interconectado Nacional de energía eléctrica.

Diferentes estudios se han realizado alrededor del mundo para mejorar la calidad de la energía empleada en instituciones educativas. En Kuwait, un país cuya industria de generación de energía es casi en su totalidad por hidrocarburos, el gobierno está haciendo diferentes planes piloto para desarrollar fuentes de generación más amigables con el medioambiente; un ejemplo de ello es la instalación de sistemas fotovoltaicos en las escuelas Sawda y Azda. Al finalizar el estudio luego de la instalación de los sistemas se observó un rendimiento energético mensual que rondaba los 104 kWh /kWp; los rendimientos finales diarios anuales fueron 4,5 kWh/kWp /día, que al compararlo con otros estudios en azoteas en otras regiones del mundo arroja un resultado muy positivo, dado que se presentan variaciones como las tormentas de arena que se han logrado superar con sistemas de limpieza automáticos [5].

Para lograr los objetivos propuestos en presente estudio se dividió el proyecto en tres fases: la primera fase consistió en un diagnóstico en el área de influencia; se realizó la búsqueda de información primaria y secundaria; la clasificación y tipificación de información con una evaluación estadística descriptiva y mapeo y, por último, se evaluaron las condiciones locativas del predio. La segunda fase se centró en la modelación del sistema: se evaluaron diferentes softwares de diagnóstico y diseño, se estableció el sistema de generación y se diseñó y modeló el sistema mediante el software PVsyst; la última fase consistió en la socialización del proyecto con la comunidad educativa, se formularon protocolos de socialización y se crearon mecanismos de empoderamiento y réplica.

## Metodología

La presente investigación se realizó mediante la búsqueda de información y caracterización de la zona donde se desarrolló el proyecto haciendo uso de herramientas virtuales o SIG; esto para la optimización del sistema de energía alternativo que sea más viable para el Colegio del Bosque Bilingüe UAN; con el fin de lograr esto el proyecto se dividió en tres fases.

### *Fase 1. Diagnóstico*

Se realizó una búsqueda de información primaria y secundaria, se clasificó y tipificó la información, se desarrolló la evaluación de los datos recopilados, el mapeo en ArcGIS y, por último, se evaluaron las condiciones locativas del Colegio.

### *Fase 2 Modelación del sistema*

Para realizar el diseño del sistema fotovoltaico se usó el programa PVsyst diseñado por el científico suizo Andre Mermaid & co, es una herramienta que permite realizar tanto el dimensionamiento y realiza el análisis de diferentes variantes, como sombras, posición geográfica o potencial energético sobre la zona de influencia del proyecto, además de diferentes aspectos que puedan interferir con el funcionamiento del sistema.

### *Fase 3 Socialización*

Esta etapa involucró la creación de mecanismos de socialización para comunicarle el proyecto a la comunidad educativa y generar mecanismos de empoderamiento.



## Resultados y discusión

### Fase 1. Diagnóstico

Se realizó una búsqueda de información primaria y secundaria que constó de la evaluación de

diez años consecutivos de datos horarios diarios de radiación (Tabla 1), procedentes de la estación de la red de monitoreo y la calidad del aire en la ciudad de Bogotá.

**TABLA 1.**  
PROMEDIO RADIACIÓN SOLAR MES A MES AÑOS 2012-2021

Mes Año	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	PROM w/
Ene	386,47	466,46	428,61	403,24	478,85	419,10	424,08	388,43	458,38	452,51	430,61
Feb	448,34	354,06	386,11	392,69	445,47	505,42	463,13	377,68	459,28	400,56	423,27
Mar	341,38	341,09	396,70	353,01	460,43	460,43	380,87	311,82	446,76	312,75	380,53
Abri	337,33	347,15	323,87	322,17	341,32	381,29	286,30	346,63	371,41	361,90	341,94
May	342,13	333,69	325,85	315,09	332,66	340,35	299,28	306,27	309,07	348,04	325,24
Jun	383,16	368,35	317,16	297,45	377,78	322,20	304,16	326,05	339,64	328,87	336,48
Jul	347,95	358,99	333,55	326,96	388,82	347,66	310,51		333,63	325,85	341,55
Ago	329,78	373,42	338,21	317,57	384,36	385,93	362,34	354,79	359,55	340,05	354,60
Sep	392,29	384,51	365,57	389,22	394,09	398,59	382,67	362,05	403,71	375,61	384,83
Oct	408,84	370,14	320,02	327,78	380,72	343,52	366,14	361,33	388,31	389,07	365,59
Nov	386,47	364,05	330,54	309,39	367,98	365,50	348,82	363,72	362,75	404,65	360,39
Dic	413,73	330,64	363,34	361,21	397,89	427,25	455,25	364,56	437,85	408,15	395,99
ANUAL	4517,87	4392,56	4229,52	4115,78	4750,38	4697,24	4383,56	3863,33	4670,34	4448,01	4406,86 w/.

Con la evaluación estadística pudo determinar que la zona del Colegio del Bosque Bilingüe UAN es idónea para la realización del proyecto, pues presenta una radiación promedio durante el periodo de tiempo analizado de  $370 \text{ w/m}^2$ , su máxima radiación es de  $430 \text{ w/m}^2$  y un mínimo de  $325 \text{ w/m}^2$ , el acumulado de radiación en el

tiempo analizado es de  $4442 \text{ w/m}^2$  (Tabla 1). Con la Tabla 2 se pudo establecer que el área administrativa cuenta con un consumo diario de  $16.726 \text{ kWh/día}$ ; con base en este consumo, la ubicación geográfica (Figura 1) y el análisis de datos de radiación (Figura 2), se realiza el modelado del sistema (Figura 3).

**TABLA II.**  
BALANCE DE CARGA ÁREA ADMINISTRATIVA COLEGIO EL BOSQUE BILINGÜE UAN

Equipo	Cantidad	Potencia w	Horas de uso	Energía wh/día
Tv Samsung	1	200	1,5	300
Computador hp	3	300	5	4500
Impresoras hp	4	100	1	400
Calentador agua	1	1000	0,3	300
Estufa eléctrica HACEB	1	2200	0,5	1100
Router	1	12	24	288
Bombillos	20	20	5,5	2200
Calefactor compacto	2	1500	1	3000
Teléfonos Panasonic	6	48	12	3456
computadores portátiles hp	6	47,5	3	855
cafetera Hamilton beach	1	1090	0,3	327
Total	46	6517,5		16726
			Total, kwh/día	16,726

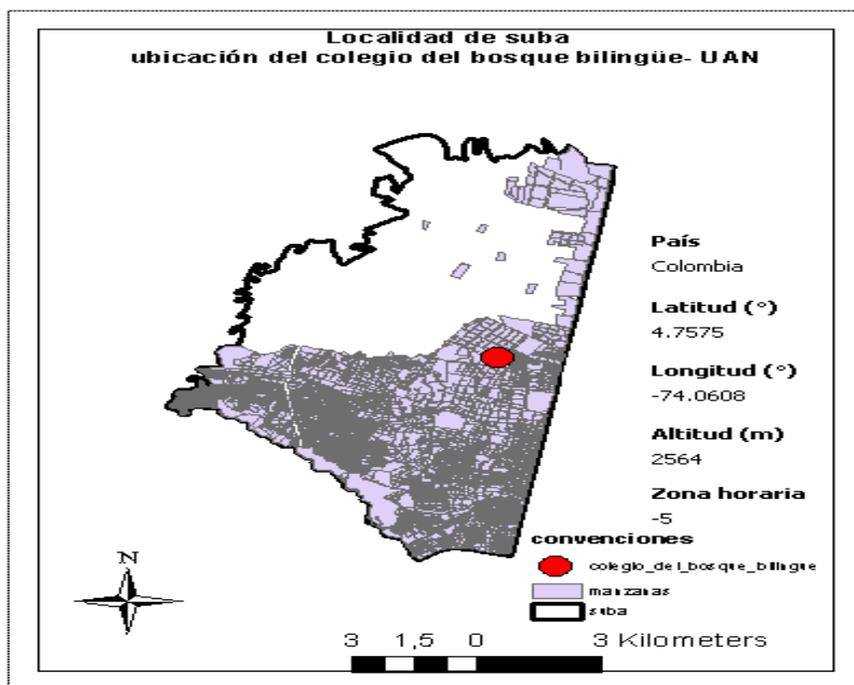


Fig. 1. Ubicación geográfica del proyecto.

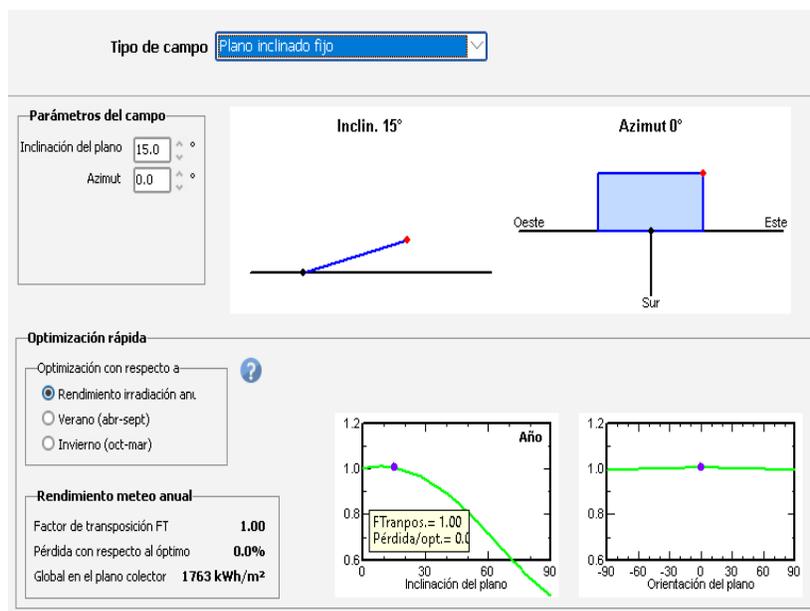


Fig. 2. Mapeo solar promedio meses del año.

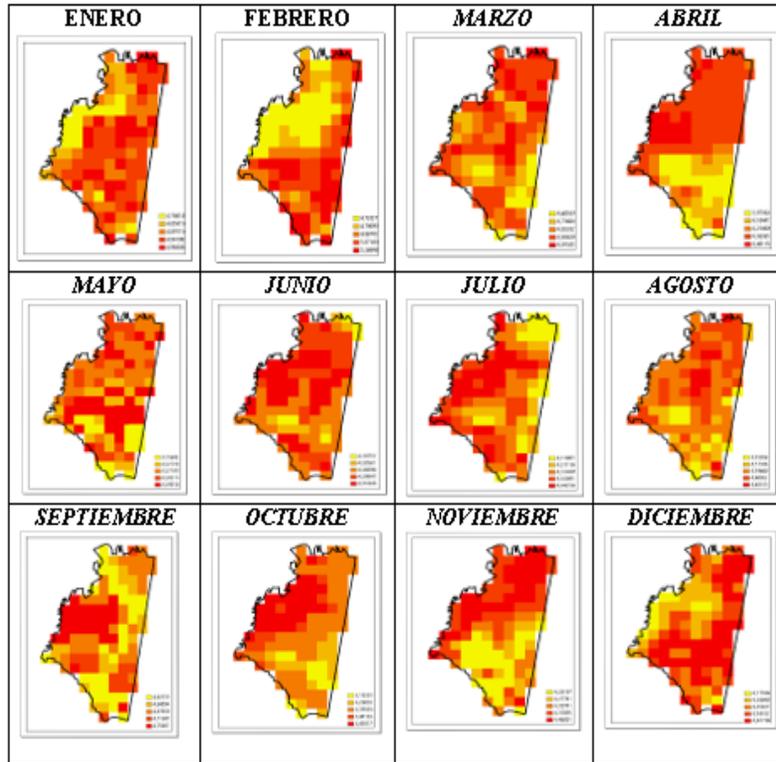


Fig. 3. Ajuste del ángulo de inclinación. [6]

Aunque con el paso del tiempo el precio de la instalación de este tipo de sistemas ha reducido su costo, hay que tener en cuenta que realizarlo para abastecer el total de la institución sería muy costoso. Por tal motivo se planteó que el sistema se realice en el área administrativa, que sea *ON-GRID*, es decir conectado a la red eléctrica nacional, y que se implemente de manera progresiva a través del tiempo para cubrir el total de la demanda; esto con el fin que sea viable tanto técnica como financieramente.

**Fase 2 simulación**

El horizonte (Figura 4) indica las sombras que pueden ser provocadas por diferentes aspectos como montañas, elementos lejanos, o las producidas por la ciudad, lo que nos indica el recorrido

de la luz y cuánto de la misma está disponible; la línea roja indica el sombreado alrededor del panel y la línea azul indica el sombreado automático producido por los paneles. Para el caso de estudio el horizonte se encuentra despejado dada la ubicación de los paneles pv.

Se establecieron parámetros de diseño como la potencia que se desea abastecer para el colegio, cuyo valor es de 16.726 kWh/día. Para realizar la modelación se usaron módulos Jinko Solar monocristalinos, modelo JKM400M-72H-V; para el inversor de potencia se eligió uno de la marca AEG Industrial Solar GmbH modelo AS-IR01-3000 (3kW). El área total requerida para la instalación del sistema fue de 16m<sup>2</sup>. En la Figura 5 se puede observar el sistema simplificado.

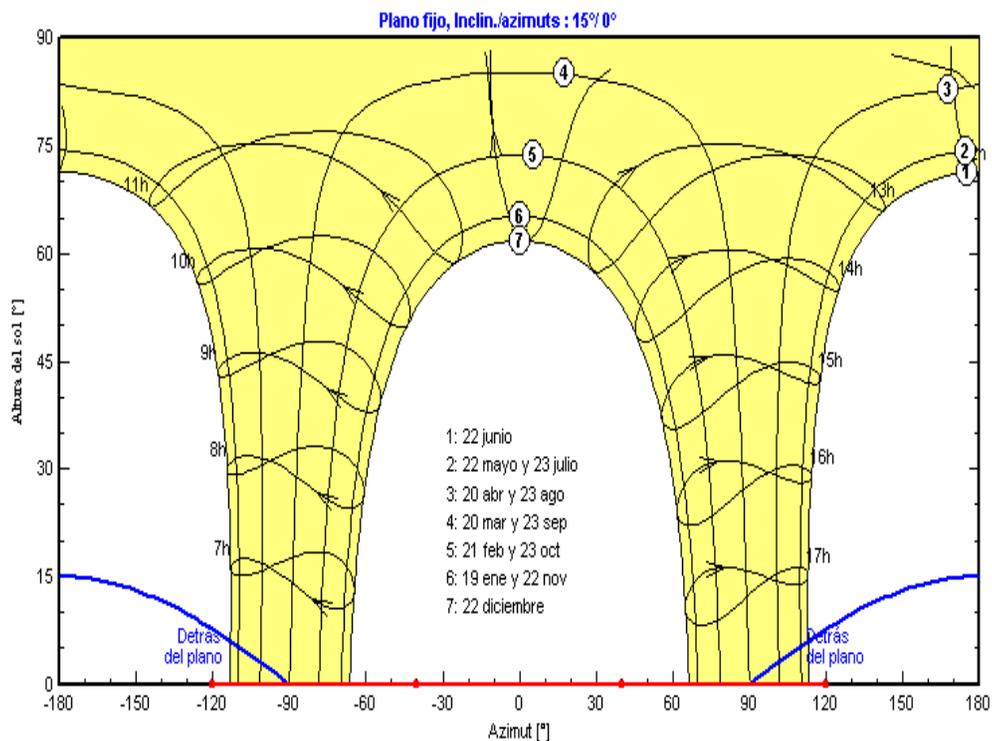


Fig. 4. Horizonte solar.

**TABLA III.  
PARÁMETROS DEL SISTEMA.**

Parámetros	Cantidad
Módulos pv	8
Área del módulo	2.012m <sup>2</sup>
IEC	1500V
VMPP	41.70V
VOC	49.80V
Potencia nom.	400wp
Inversores	1

Mpp mínimo	120v
Mpp máximo	450v
Voltaje de red	230 v
Potencia AC nominal	3.00 kW
Eficiencia máxima	97.30 %

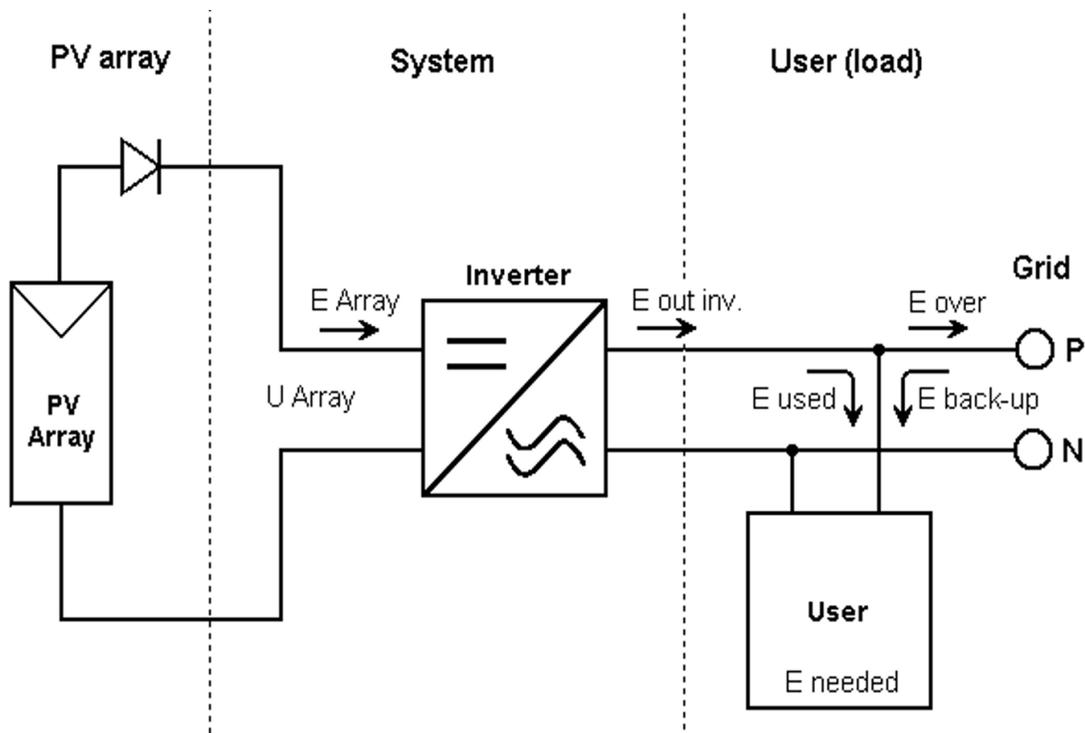


Fig. 5. Esquema simplificado. [6]

En la Figura 6 se puede observar el coeficiente de rendimiento PR (*performance ratio*), el cual indica la relación entre la producción solar del sistema con respecto a la irradiación solar recibida sobre el área del proyecto; para el caso de estudio, dicho coeficiente fue de  $0.841 = 84.1\%$  lo que se encuentra en el rango óptimo permisible

para sistemas pv. Por otro lado, la Figura 7 presenta la pérdida en conjunto del sistema pv la cual fue de  $13\%$ , la pérdida ocasionada por el inversor la cual fue de  $2.9\%$  y el rendimiento o energía producida ronda el  $84.1\%$ . Finalmente, la Figura 8 presenta el diagrama de pérdidas en conjunto del sistema.

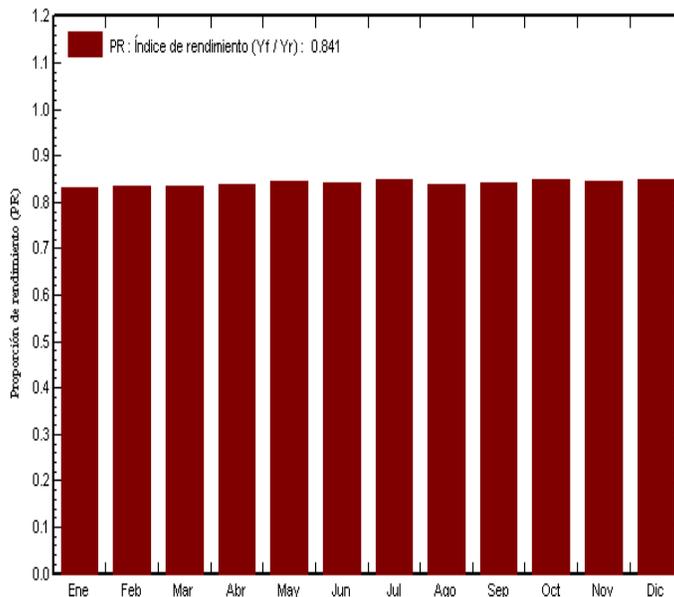


Fig. 6. Coeficiente de rendimiento.

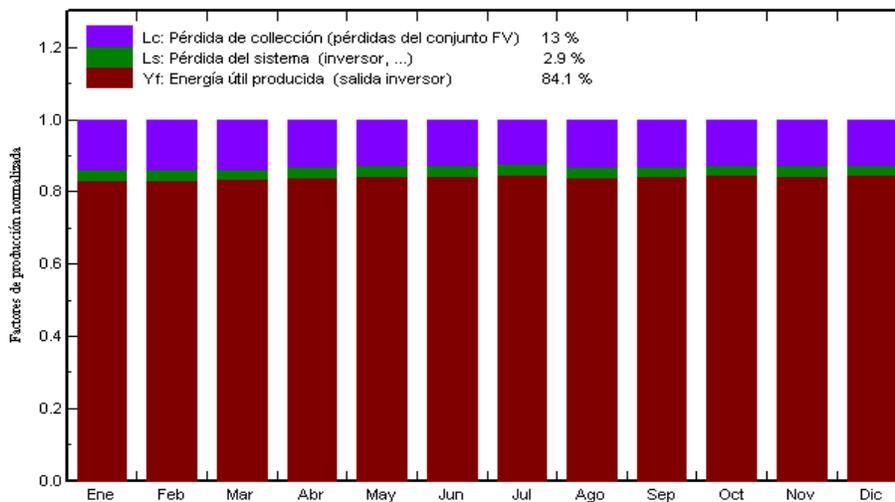


Fig. 7. Producción normalizada y factores de pérdida.

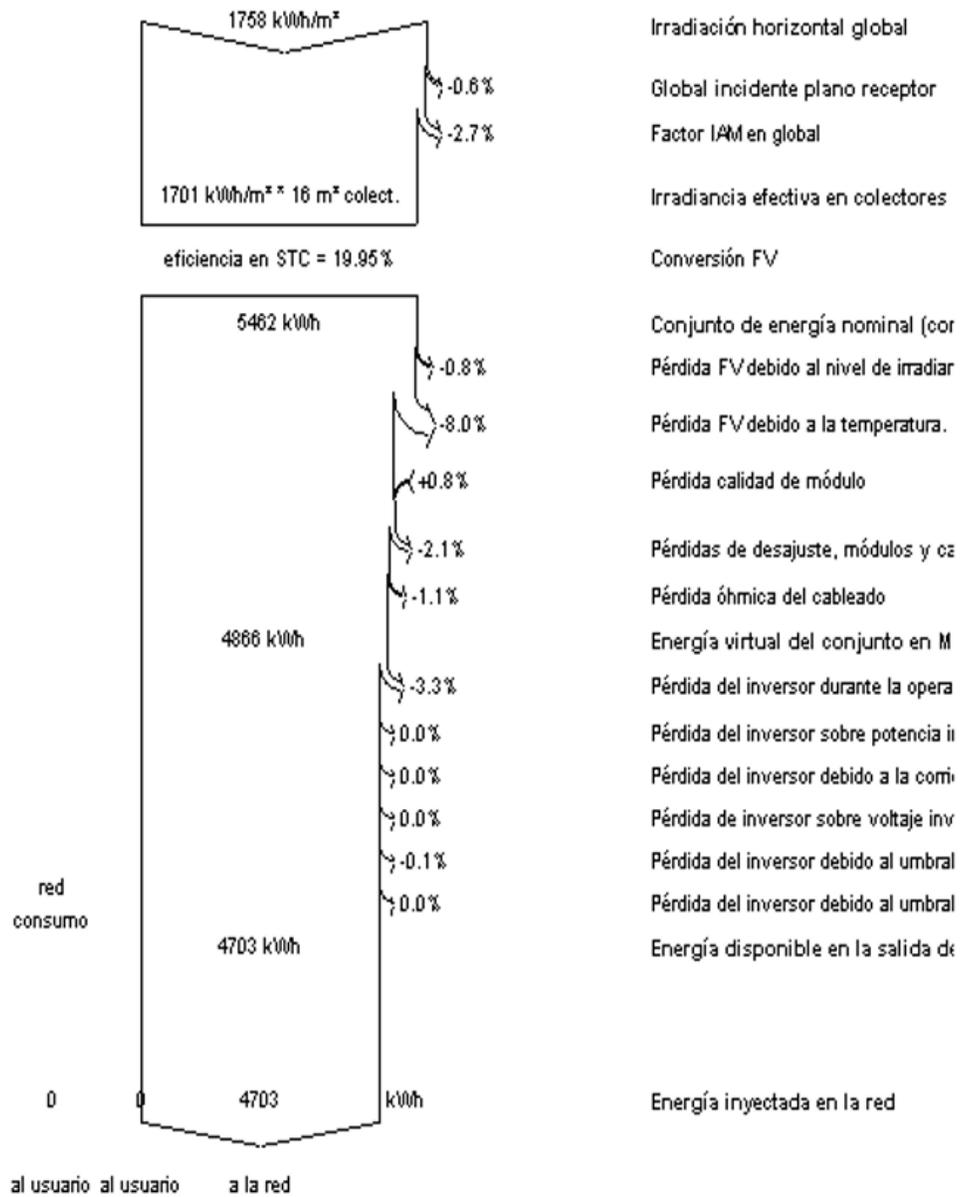


Fig. 8. Diagrama de pérdidas en conjunto del sistema. [6]

Los resultados de la modelación se resumen a continuación:

- La producción total del sistema durante todo el año es de 4073 kW/año
- Rendimiento: 84.1 %
- Producción específica: 1470 kWh/kwp/año
- Pérdidas del conjunto PV: 13% anual
- Pérdidas producidas por el inversor: 2.9% anual
- Las pérdidas producidas por el sistema se encuentran en el rango óptimo.
- Consumo de energía total del año: 36 494 Wh/año.
- Energía abastecida por el sistema pv: 4703 kWh/año.
- Con el sistema se abastece el 16.89 % de la institución.
- Costos anuales de energía: \$25.974.380,42
- Ahorro monetario al año: \$3.345.500

### *Fase 3. Socialización*

Luego de culminar tanto los estudios técnicos como el modelado del sistema, se procedió a realizar la socialización con la comunidad educativa en cabeza de la Rectora, con la cual se buscó explicar el modelo de tal manera que la comprensión del mismo fuera fácil. Además, se trataron otros temas como sostenibilidad ambiental, cambio climático, sistemas de energías alternativas entre otros. Se presentaron folletos con el fin de usarlos como un instrumento di-

dáctico y videos de sensibilización, entre otros métodos.

Para facilitar el empoderamiento del sistema, las memorias de cálculo y el modelo en el programa se le entregan al colegio con el fin de seguir implementando de manera progresiva el sistema.

## **Conclusiones**

El diagnóstico de las diferentes variables analizadas sobre la zona de influencia permitió determinar la viabilidad de un sistema de energía solar fotovoltaica, para adaptarse a las condiciones establecidas del Colegio del Bosque Bilingüe UAN.

Dado que los costos de instalar el sistema para toda la institución son muy elevados, se optó por realizar el modelamiento para abastecer el total de la demanda del área administrativa.

En la institución, la zona que permite un mayor rendimiento del modelado es el bloque de secundaria, allí se evidencian menos sombras u otros elementos que puedan influir en el rendimiento del sistema. En aquellas zonas las pérdidas que presenta el sistema se encuentran en el rango permisible con lo cual se evidencia una viabilidad técnica alta.

## **Declaraciones**

- Autoría: los autores declaran la originalidad de los resultados presentados y su contribución específica dentro del artículo.
- Conflicto de intereses: los autores declaran no tener ningún conflicto de interés para la publicación del artículo.

## Referencias

- [1] Total Energies. “La energía y el desarrollo de la humanidad”. Marzo 18 de 2020. Disponible: <https://www.totalenergies.es/es/pymes/blog/la-energia-y-el-desarrollo-de-la-humanidad>. [Consultado: 24-Mar-2023].
- [2] UPME/BID. “Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia”. Unidad de Planeación Minero Energética & Banco Interamericano de Desarrollo. Convenio ATN/FM-12825-CO - Promoción de criterios de mercado para las energías renovables no convencionales a través de la eliminación de barreras para su desarrollo. Colombia. 2015. [En línea]. Disponible: [http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion\\_Energias\\_Renovables/INTEGRACION\\_ENERGIAS\\_RENOVANLES\\_WEB.pdf](http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion_Energias_Renovables/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVANLES_WEB.pdf) [Consultado: 24-Mar-2023].
- [3] PNUMA. “Energía renovable”. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Consultado: 24-Mar-2023. Disponible: <https://www.unep.org/explore-topics/energy/what-we-do/renewable-energy>.
- [4] E. Kabir, P. Kumar, S. Kumar, A.A. Adelodun, & K.H. Kim. Solar energy: Potential and future prospects, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 82, pp. 894-900, 2018.
- [5] A. Al-Otaibi, A. Al-Qattan, F. Fairouz & A. Al-Mulla. Performance evaluation of photovoltaic systems on Kuwaiti schools’ rooftop. *Energy Convers. Manag.*, vol. 95, pp. 110-119, 2015.
- [6] A. Shrivastava, R. Sharma, M. Kumar Saxena, V. Shanmugasundaram & A. Moti Lal Rinawa. Solar energy capacity assessment and performance evaluation of a standalone PV system using PVSYST. *Materials Today: Proceedings*, 2021. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.07.258>

