

EDUCACIÓN PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE: APLICACIÓN DEL SOFTWARE SCILAB PARA EL APRENDIZAJE DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN EDUCACIÓN SUPERIOR

EDUCATION FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT: APPLICATION OF SCILAB SOFTWARE FOR LEARNING PHOTOVOLTAIC ENERGY IN HIGHER EDUCATION

María Isabel López E.

malopez@ucab.edu.ve

ORCID 0000-0003-3780-8241

Centro de Investigación y Desarrollo en Ingeniería. Facultad de Ingeniería. Universidad Católica Andrés Bello. Caracas, Venezuela

Alexis Barroso M.

abarroso@ucab.edu.ve

ORCID 0000-0002-5109-9077

Centro de Investigación y Desarrollo en Ingeniería. Facultad de Ingeniería. Universidad Católica Andrés Bello. Caracas, Venezuela

Recibido: 13/09/2023 - Aprobado: 29/11/2023

Resumen

Se propone un método de simulación para el aprendizaje de la energía fotovoltaica (panel solar), utilizando el programa Scilab en el marco de la Educación para el Desarrollo Sostenible (EDS) en ingeniería. Para ello se plantearon dos búsquedas documentales: las simulaciones y la aplicación de la EDS en dicha carrera; asimismo se evaluó el grado de exactitud y precisión de los resultados del software propuesto, comparándolos con datos del fabricante del panel solar físico. La experiencia resultó favorable y mostró la eficacia de utilizar Scilab ya que es un software libre que, en este caso, produjo resultados válidos y confiables, por lo que se recomienda su inclusión como un recurso didáctico en los estudios de estos temas en ingeniería.

Palabras Clave: Educación para el desarrollo sostenible, energía fotovoltaica, simulación con software libre.

Abstract

A simulation method is proposed for learning photovoltaic energy (solar panel), using the Scilab program within the framework of Education for Sustainable Development (EDS) in engineering. For this, two documentary searches were proposed: the simulations and the application of the EDS in said race; likewise, the degree of accuracy and precision of the results of the proposed software was evaluated, comparing them with data from the manufacturer of the physical solar panel. The experience was favorable and showed the effectiveness of using Scilab since it is free software that, in this case, produced valid and reliable results, which is why its inclusion as a teaching resource in the studies of these topics in engineering is recommended.

Keywords: Education for sustainable development, photovoltaic energy, simulation with free software.

Introducción

La educación superior se ha visto en la necesidad de transformarse con el fin de profundizar su pertinencia y calidad. Desde la Declaración Mundial Sobre La Educación Superior en El Siglo XXI: Visión y Acción (UNESCO, 1998) hasta el presente, las instituciones de educación superior, tradicionalmente centradas en la generación, divulgación, evaluación y preservación del conocimiento, han venido cambiando a entidades flexibles, dinámicas y sistémicas, sin detrimento de su responsabilidad con los conocimientos válidos y confiables, y sin menoscabo de la tarea de formar profesionales de alto nivel.

Así, dichas instituciones han asumido planes estratégicos, procesos de evaluación internos y externos, uso extendido y profundo de las tecnologías, diversificación de las ofertas, formación integral de las personas, necesidad de alianzas y fortalecimiento de su compromiso social, por lo que la innovación, entendida como cambios para mejorar, se ha convertido en la columna vertebral de sus acciones.

Como consecuencia, la innovación educativa, en su más amplio espectro, debe tener un espacio primordial en la formación integral antes mencionada y, por ende, en las tareas docentes. Por tal motivo se demandan actividades situadas en el contexto profesional, la aplicación de tecnologías para favorecer los aprendizajes, el uso de estrategias colaborativas e interdisciplinarias, de forma tal que los estudiantes transiten desde el pensamiento analítico al complejo y aborden los contextos global, regional y local, en el marco de una

formación ética, socialmente responsable, comprometida con el desarrollo sostenible y el aprendizaje permanente.

Ahora bien, de acuerdo con la UNESCO (2023) la educación para el desarrollo sostenible (EDS) se configura como un proceso continuo de aprendizaje que se extiende a lo largo de la vida, constituyendo un elemento fundamental dentro de una educación de calidad. Esta no solo se limita a la adquisición de conocimientos, sino que también fomenta el desarrollo integral del individuo, abarcando las dimensiones cognitiva, socioemocional y conductual.

En ese sentido, toma especial importancia la implementación de la EDS en la formación de profesionales, de manera tal que los estudiantes puedan desarrollar competencias (saberes teóricos, procedimentales y actitudinales) desde sus áreas de estudio, para enfrentar los desafíos globales que comprometen el futuro de las nuevas generaciones. Así, problemas como el cambio climático, la pérdida de biodiversidad, el acceso a energías seguras y al agua potable, el hambre y la educación de calidad, entre otros, se conviertan en asuntos de fundamental interés tanto en las discusiones en las aulas como en las actividades de investigación y extensión.

Actualmente, en la llamada década de la acción: 2020-2030, se plantea la *transformación de los entornos de aprendizaje* (UNESCO, 2020) para favorecer la formación de ciudadanos globales que contribuyan con el desarrollo sostenible, asimismo, la UNESCO (2022), en su estudio: *¿Qué dice la juventud sobre la educación superior en el futuro?*, encontró que los jóvenes

recomiendan que la educación superior “Llame la atención sobre los problemas locales y globales abriendo nuevas vías de reflexión sobre el futuro y promoviendo el servicio a la comunidad”

Es así que, al referirse a los estudios sobre la energía en las titulaciones de ingeniería, la innovación y las nuevas tecnologías deben ir de la mano con la EDS, ya que la situación energética mundial, específicamente el consumo de energía eléctrica, afecta al desarrollo humano (CEPAL, 2012) y es un factor protagónico tanto para el uso de energías renovables como para enfrentar el grave problema del cambio climático. Ello se vincula directamente con los Objetivos de Desarrollo Sostenible N° 7: *“Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna”* y N° 13: *“Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos”* (ONU, s.f, p. 7-13).

Por todo lo antes expuesto se propone una aplicación del programa SCILAB para el aprendizaje de Energía Fotovoltaica en Educación Superior, de acuerdo con lo que se presenta a continuación.

Modelo de un panel fotovoltaico

Los sistemas fotovoltaicos tienen la capacidad de convertir directamente la energía que llega del sol en forma de radiación en energía eléctrica. El elemento esencial de los sistemas fotovoltaicos son las células solares construidas en base a semiconductores. Un modelo sencillo se presenta en la Figura 1, conectado a una resistencia variable, a temperatura estable y una irradiación dada, si se coloca la resistencia variable en $R=0$ Ohm, se estará

midiendo la corriente de cortocircuito I_{CC} de la celda; si se varia la resistencia se observará que el voltaje aumenta lentamente, sin cambios fundamentales en la corriente, hasta llegar a cierto nivel de voltaje donde la corriente cae abruptamente, tal como se presenta en la Figura 2.

Figura 1

Esquema del circuito para obtener la curva I-V

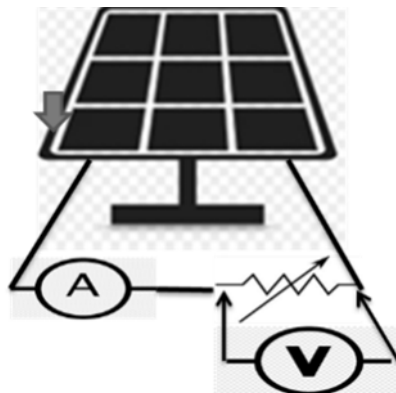
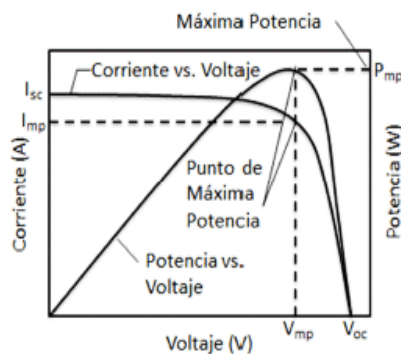


Figura 2

Característica I-V y P-V de un panel fotovoltaico



Fuente: Vargas y Abrahamse (2014)

Algunos de los parámetros fundamentales que caracterizan un panel fotovoltaico se expresan a continuación (Huan-Liang et al., 2008):

- **Corriente de cortocircuito (I_{sc}):** es la corriente que provee la celda cuando sus contactos están cortocircuitados, además, constituye la máxima corriente que puede suministrar.
- **Tensión de circuito abierto (V_{oc}):** es el voltaje entre los terminales del módulo fotovoltaico cuando se encuentra desconectados. Como se puede observar en el gráfico de la Figura 2 como V_{oc} .
- **Potencia máxima (P_{max}):** la potencia es el producto de la corriente por el voltaje, Figura 1, para cada punto de operación dada una temperatura e irradiación, con dichos datos se construye la curva característica P-V. La curva tiene un punto máximo de potencia.
- **Factor de llenado (FF):** también llamado factor de forma, se define como el cociente entre la potencia máxima, P_{max} , y el producto de la corriente de cortocircuito I_{cc} por la tensión de circuito abierto V_{oc} . Gráficamente es el cociente entre las áreas de los rectángulos indicados en la Figura 2.
- **Eficiencia (η):** define de la potencia obtenida de la solar cuánto se transforma en electricidad. Depende del área A del módulo y la irradiancia I . La ecuación es la siguiente:

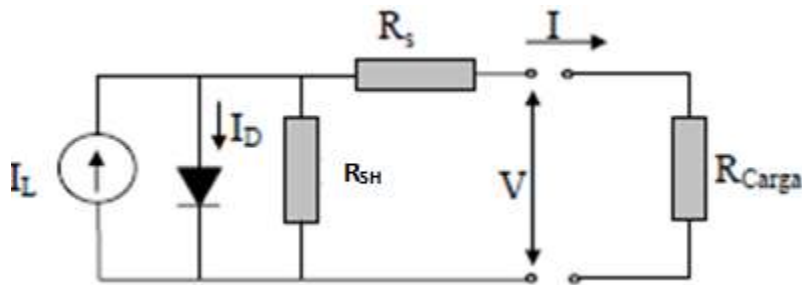
$$\eta = \frac{P_{max}}{A I}$$

En la Figura 3 se presenta el modelo eléctrico equivalente de una célula fotovoltaica, que actúa como una fuente de corriente que genera I_L . La unión p-n de la célula se modela como un diodo, por el que pasa la corriente I_D . Debido a no idealidades en la unión p-n algunos electrones pueden fluir sobre

la unión; esto es modelado por la resistencia de derivación R_{SH} . Los cables de conexión se modelan con una resistencia conectada en serie R_s . La salida de corriente se denomina I y la tensión V (Vera-Dávila et al., 2018).

Figura 3

Circuito equivalente de un panel fotovoltaico



Fuente: Vera-Dávila et al., (2018)

Una sola célula fotovoltaica genera entre 0,5 y 0,8 voltios dependiendo del semiconductor y de la tecnología utilizada en su fabricación. Estos valores son demasiado bajos para ser útiles, por lo que en la práctica se conectan en serie entre 36 y 72 células para formar un módulo fotovoltaico. La ecuación de la corriente de salida I en función de la tensión está dada por:

$$I = I_{PH} - I_S \left[\exp\left(\frac{q(V + IR_s)}{kT_e A}\right) - 1 \right] - (V + IR_s) / R_{SH}$$

Donde:

- I_{PH} es la corriente generada por la luz incidente e I_S es la corriente de saturación.
- $q=1,6e^{-19}$ Coulomb (carga del electrón).

- k constante de Boltzmann. $k=1,38e^{-23}$ J/K
- T_C es la temperatura de trabajo de la celda.
- A es un factor que depende de la tecnología de la celda fotovoltaica. Para una celda de Silicio monocristalino el valor es 1,2; para una celda de Silicio policristalino 1,3.
- R_{SH} y R_s la resistencia Shunt y la serie respectivamente.

La corriente producida por la luz incidente en la celda es expresada como:

$$I_{PH} = [I_{SC} + K_I(T_C - T_{ref})]\lambda$$

- K_I es un coeficiente de temperatura de la celda fotovoltaica.
- T_C es la temperatura de trabajo de la celda fotovoltaica.
- T_{ref} es la referencia de temperatura de la celda.
- λ es la radiación en kW/m².

La corriente de saturación está dada por:

$$I_s = I_{RS} \left(\frac{T_C}{T_{ref}} \right)^3 \exp[qE_G(1/T_{ref} - 1/T_C)/KA]$$

I_{RS} es la corriente de saturación inversa a una determinada radiación y temperatura. E_G es la brecha de banda o energía de la banda prohibida. Algunos materiales se presentan en la Tabla 1 (Streetman et al., 2000).

Tabla 1

Lista de bandas prohibidas de algunos elementos

Material	Símbolo	Band gap (eV) 300K
Silicio	Si	1,11
Arseniuro de galio	GaAs	1,42

Modelo en SCILAB-Xcos

El modelo diseñado en Xcos de Scilab se basa en las ecuaciones expresadas en la sección anterior. Estas ecuaciones son introducidas en las estructuras de bloque del programa, Figuras 4 y 5 respectivamente. La herramienta computacional implementada se organizó en dos módulos principales: área de simulación del usuario (entrada de datos) y de generación de resultados; donde son mostrados gráficamente.

Figura 1

Modelo en Scilab de un panel Fotovoltaico

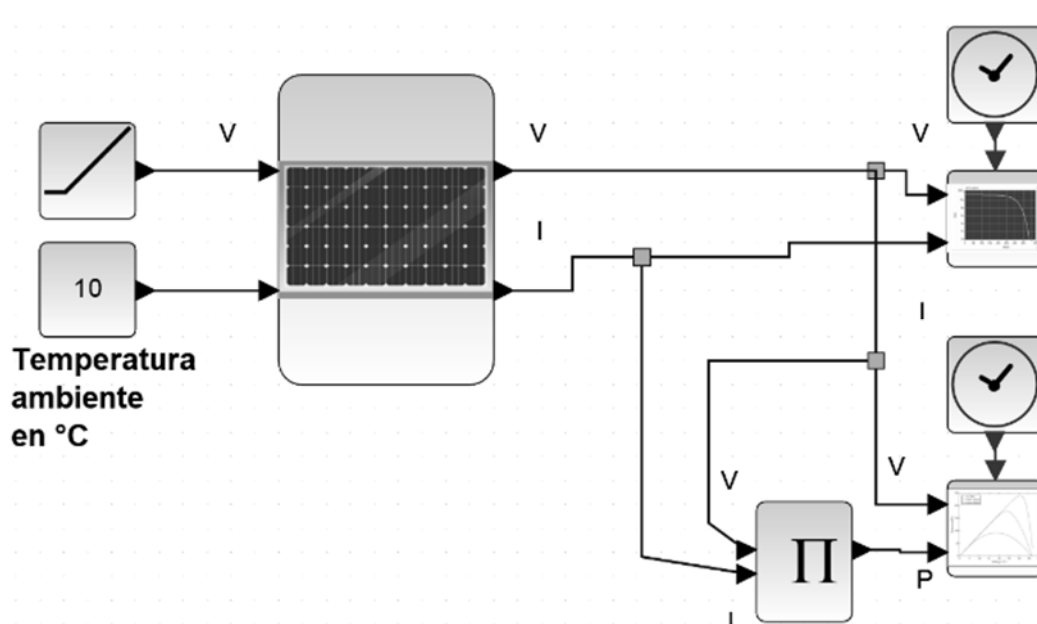
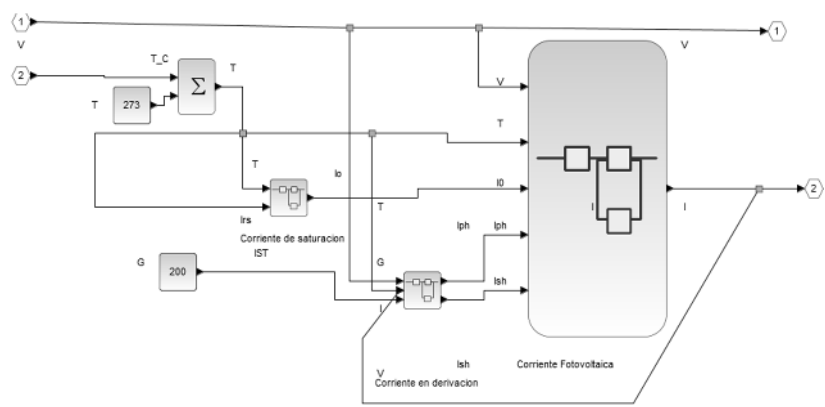


Figura 5

Modelo interno Fotovoltaico en Scilab



Simulación de módulos fotovoltaicos

Se procedió a comparar las simulaciones con los datos del panel solar 275W, modelo BSP275P de la empresa Bauer Energy, los cuales se presentan en la Tabla 2:

Tabla 2

Modelo de panel BSP275P

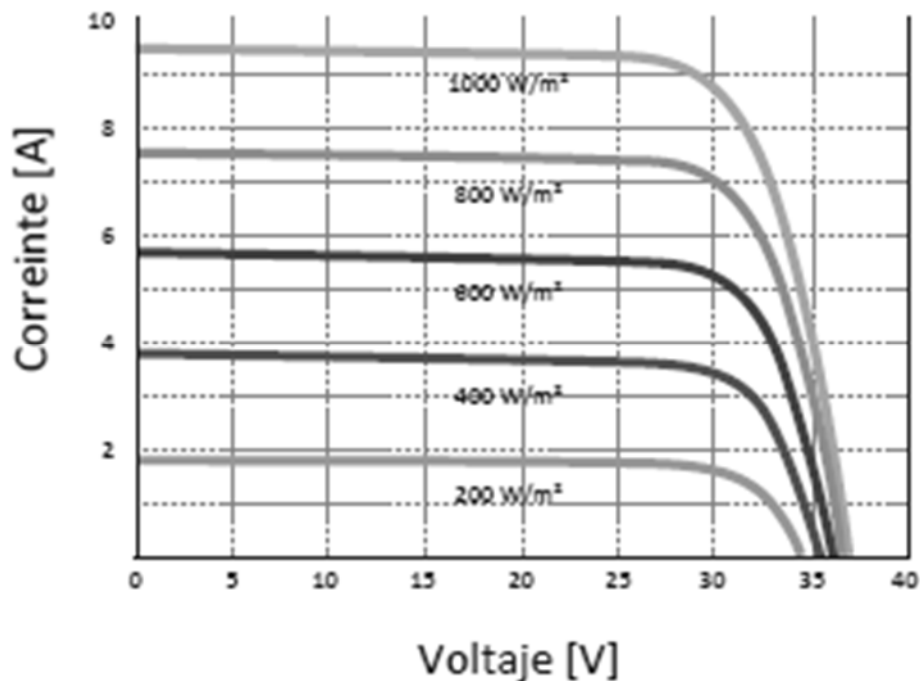
Tamaño del módulo	1640 x 991 x 35 mm
Células	60 piezas policristalinas (152 x 152 mm)
Cristal	Bajo contenido en hierro y templado (3,2 mm)
Potencia máxima (Wp)	275W
Cable	100cm, 4mm ²
Voltaje en circuito abierto (Voc)	38.14V
Intensidad en cortocircuito (Isc)	9.2A
Voltaje a máxima potencia (Vm)	31.87V
Intensidad a máxima potencia (Im)	8.63A
Condiciones del test	1000W/m ² , 25°C, AM 1.5
Voltaje máximo sistema	1000Vdc
Coefficiente temperatura – Isc	+0.05%
Coefficiente temperatura – Uoc	-0.33%
Coefficiente temperatura – Pmpp	-0.41%
Temperatura normal trabajo célula	43°C
Eficiencia del módulo	16.9%

Fuente: Bauer Energy (2023)

Las curvas correspondientes a diferentes irradiaciones solares y temperatura de 25°C dados por el fabricante se muestran en la Figura 6:

Figura 6

Curva del fabricante del panel BSP275P

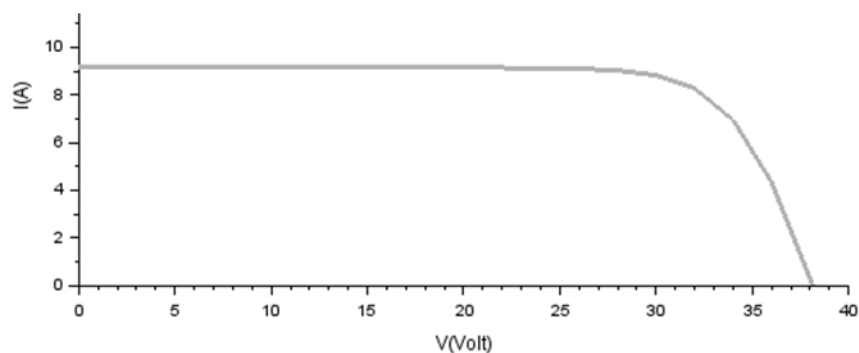


Fuente: Bauer Energy (2023)

La entrada de datos a Scilab corresponde con los datos básicos del panel, en este caso lo suministrados por el fabricante como número de células, corriente de cortocircuito (I_{sc}), voltaje a circuito abierto (V_{oc}). Así, de esta manera, poder realizar las comparaciones entre la simulación y los datos del fabricante. Para una irradiación de 1000 W/m² y 25°C se obtiene la gráfica de la Figura 7, coincidiendo con la curva del fabricante.

Figura 7

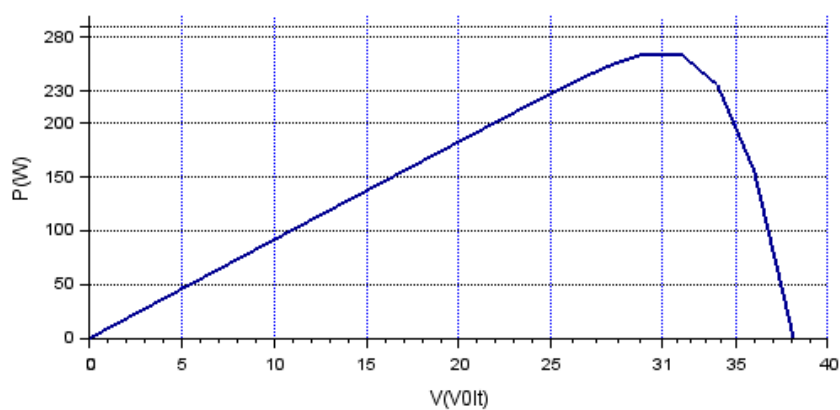
Curva obtenida en SCILAB bajo las condiciones especificadas



La curva de potencia en función del voltaje, bajo las condiciones anteriores, se presenta en la Figura 8, donde coincide con los puntos de operación nominales, Tabla 2, con un voltaje a máxima potencia de 31,87 V.

Figura 8

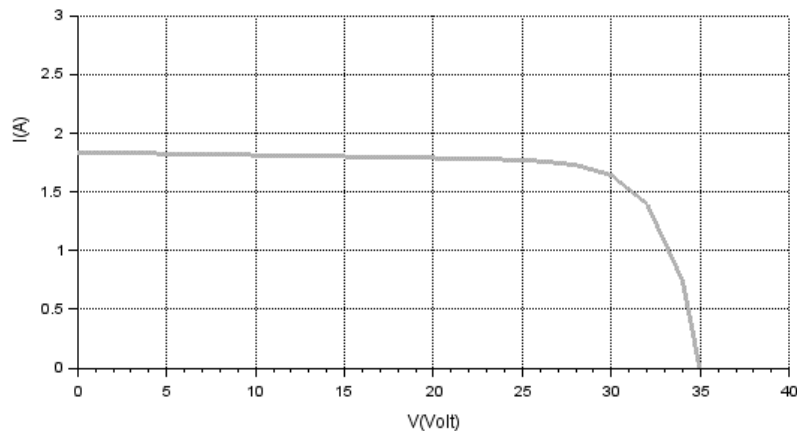
Curva de potencia generada en SCILAB bajo las condiciones especificadas



Ahora, para la condición de operación de 25°C y una irradiación de 200 W/m² se tiene la curva de la Figura 9, similar a la suministrada por el fabricante para una familia de irradiaciones, presentada en la Figura 6.

Figura 9

Curva obtenida en SCILAB a 25°C y una irradiación de 200 W/m²



Conclusiones

Esta experiencia favorece la aplicación de la EDS ya que los estudiantes pueden profundizar sus aprendizajes sobre las energías renovables, energía solar fotovoltaica y el uso de paneles solares como posibles sustitutos de la energía generada por hidrocarburos, en particular por los problemas que surgen debidos a la producción de CO₂, uno de los llamados gases de efecto invernadero, responsables de la destrucción de la capa de ozono y sus efectos en el cambio climático.

Los resultados permiten inferir que el modelo matemático del panel fotovoltaico coincide con los datos suministrados por el fabricante, con lo que se comprueba que con este método de simulación en Scilab Xcos es posible conocer de una manera confiable el comportamiento del panel. Dichas simulaciones toman en cuenta la irradiación solar y la temperatura de la célula fotovoltaica, obteniendo las características I-V y P-V a distintas condiciones de

operación e incidencia solar. La energía solar se presenta como una alternativa inagotable y sostenible a los combustibles fósiles, principales causantes de las emisiones de gases de efecto invernadero.

La EDS contribuye a empoderar a las personas para adoptar la energía solar como una fuente de energía limpia y renovable para impulsar el desarrollo sostenible. La sinergia entre ambas es crucial para alcanzar un mundo más verde, justo y próspero para las generaciones presentes y venideras.

Recomendaciones

Con esta simulación se pueden realizar diversas experiencias al modificar datos como incidencia de la irradiación y temperatura, de forma tal que los resultados de la potencia, la corriente y el voltaje se vinculen con los posibles usos de los paneles solares en sistemas de generación de electricidad, bien sea como elementos únicos o como parte de propuestas híbridas al integrarse con turbinas eólicas y/o plantas diésel.

En el marco de la EDS, se pueden generar discusiones en el aula sobre asuntos relacionados con la disponibilidad de energía asequible y no contaminante (ODS 7), cambios en los patrones energéticos y efectos de la merma en el consumo de combustibles fósiles frente al cambio climático (ODS 13), entre otros temas afines.

Asimismo se recomienda diseñar, desarrollar e implementar cursos o talleres de formación para profesores del área, de forma tal que puedan realizar estas experiencias en sus unidades curriculares.

Referencias

- CEPAL (27-31 de agosto de 2012). *Cambio Estructural para la Igualdad: Una visión integrada del desarrollo*. Trigésimo cuarto período de sesiones de la CEPAL. San Salvador.
- Bauer Energy (2023). Panel solar 275w 60 células policristalino. Características. Esquemas. Curvas. Autosolar.es. Disponible en: <https://autosolar.es/pdf/ficha-tecnica-panel-275-bauer.pdf> [21/03/2023]
- Huan-Liang, T., Ci-Siang, T. and Yi-Jie S. (October 22-24, 2008). Development of Generalized Photovoltaic Model Using MATLAB/SIMULINK. *En Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science*. (846-851). San Francisco. USA. Disponible en: https://www.iaeng.org/publication/WCECS2008/WCECS2008_pp846-851.pdf
- Streetman, B. G. and Sanjay, B. (2000). *Solid State electronic Devices* (5a ed.). Nueva Jersey: Prentice Hall.
- ONU (s.f). Objetivos de Desarrollo Sostenible. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/> [22/11/2023]
- UNESCO. (1998). Declaración mundial sobre la Educación Superior en el siglo XXI: Visión y acción. *Revista Educación Superior y Sociedad*. (Vol. 9, N° 2, p. 97-113).
- UNESCO (2020). *Educación para el Desarrollo Sostenible*. Disponible en: <https://www.unesco.org/es/sustainable-development/education/toolbox> [20/02/2023]
- UNESCO (2022). *La educación superior que queremos: las voces de la juventud sobre los futuros de la educación superior*. Disponible en: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000382996>
- UNESCO (2023). *Qué debe saber acerca de la Educación para el Desarrollo Sostenible*. Disponible en: <https://www.unesco.org/es/education-sustainable-development/need-know> [22/11/2023]
- Vargas, T., y Abrahamse, A. (2014). Trazador de curvas i-v de código abierto para monitoreo de rendimiento de paneles fotovoltaicos en Bolivia. *Investigación y Desarrollo*. (Vol. 1, N° 14, p. 100-116). http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2518-44312014000100007
- Vera-Dávila, A. G., Delgado-Ariza, J. C. y Sepúlveda-Mora, S. B. (2018). Validación del modelo matemático de un panel solar empleando la herramienta Simulink de Matlab. *Revista Investigación Desarrollo e Innovación*. (Vol. 8, N° 2, p. 343-356). <https://doi.org/10.19053/20278306.v8.n2.2018.7972>