

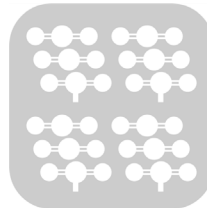
Estimación de ahorro de CO₂ en la operación de una planta fotovoltaica de 500 kW

RESUMEN: El desarrollo sostenible ha adquirido significativa importancia a nivel internacional, representando un esfuerzo colectivo para mejorar las condiciones de vida en todo el mundo. En 2015, los Estados Miembros de las Naciones Unidas aprobaron diecisiete Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) como parte de la Agenda 2030, integrados e indivisibles en dimensiones económicas, sociales y ambientales.

La ingeniería eléctrica emerge como un actor clave en la consecución de estos objetivos, especialmente en el caso del ODS 7, que busca asegurar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos. Además, su contribución se extiende de manera indirecta a metas relacionadas con el crecimiento económico sostenible, la construcción de infraestructuras resilientes e innovadoras, la promoción de modalidades de consumo y producción sostenibles, así como la urgencia de abordar el cambio climático.

En particular, la implementación de fuentes renovables, como la generación distribuida de energía, se revela como una opción destacada. La generación distribuida, que incluye tecnologías como cogeneración, turbinas eólicas, sistemas fotovoltaicos y otras innovaciones, se presentan como una vía para acceder a una energía descarbonizada. Este trabajo examina el impacto de la planta fotovoltaica de 500 kW instalada en la FCITEC, analizando datos históricos de generación y estimando el ahorro de emisiones de CO₂.

PALABRAS CLAVE: Cambio climático, energía sostenible, emisiones de dióxido de carbono, generación distribuida, objetivos de desarrollo sostenible, planta fotovoltaica.



Colaboración

Alejandra Jiménez; Allen Castillo; Gerardo Ayala; José Navarro; Irán Arias, Universidad Autónoma de Baja California

Fecha de recepción: 14 de noviembre de 2023

Fecha de aceptación: 18 de diciembre de 2023

ABSTRACT: Sustainable development has acquired significant importance at the international level, representing a collective effort to improve living conditions around the world. In 2015, United Nations Member States adopted seventeen Sustainable Development Goals (SDGs) as part of the 2030 Agenda, integrated and indivisible in economic, social, and environmental dimensions.

Electrical engineering emerges as a key player in achieving these goals, especially in the case of SDG 7, which seeks to ensure access to affordable, reliable, sustainable, and modern energy for all. In addition, its contribution extends indirectly to goals related to sustainable economic growth, the construction of resilient and innovative infrastructure, the promotion of sustainable consumption and production patterns, as well as the urgency of addressing climate change.

In particular, the implementation of renewable sources, such as distributed power generation, is revealed as a prominent option. Distributed generation, which includes technologies such as cogeneration, wind turbines, photovoltaic systems, and other innovations, is presented as a way to access decarbonized energy. This paper examines the impact of the 500 kW photovoltaic plant installed at the FCITEC, analyzing historical generation data and estimating the savings in CO₂ emissions.

KEYWORDS: Climate change, sustainable energy, carbon dioxide emissions, distributed generation, sustainable development goals, photovoltaic plant.

INTRODUCCIÓN

El suministro convencional de energía eléctrica en naciones industrializadas se basa en la generación a gran escala mediante tecnologías como centrales de combustibles fósiles, nucleares o hidroeléctricas, seguidas del transporte de ener-

gía a largas distancias hasta los puntos de consumo. En los últimos años ha emergido un modelo alternativo: la Generación Distribuida (GD), caracterizada por la generación de pequeña escala cerca de los centros de consumo [1], [2]. La fusión de ambos modelos se vislumbra como la base para futuros sistemas eléctricos. La generación distribuida, especialmente a través de tecnologías basadas en fuentes renovables como los sistemas fotovoltaicos, se posiciona como una excelente opción para un suministro de potencia descarbonizado [3]–[5].

En América Latina entre los años 2000 y 2012, la huella de carbono proveniente únicamente por la generación de energía eléctrica aumentó en un 44%, esto equivale a 166 $MtCO_2e$ (millones de toneladas de CO_2 equivalente) al año [6]. Según datos de la Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático, en 2010 el sector energía aportó un 69% del total de emisiones/absorciones de GEI en Panamá con 7769.56 $GgCO_2$ equivalente emitidos. De aquí, el subsector industrias de la energía, en donde está considerada la generación eléctrica, representó un 25%, con 1826.03 $GgCO_2e$ en emisiones [7].

Este artículo analiza la planta fotovoltaica ubicada en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología (FCITEC), de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), construida en diciembre de 2019 y operativa desde octubre de 2020, con el objetivo de satisfacer hasta el 45% del requerimiento energético del campus [8]. Entre octubre de 2020 y julio de 2022, la planta produjo 569,557 kWh, generando un ahorro económico del 29.8%. Utilizando datos de monitoreo y el factor de emisiones de la Comisión Reguladora de la Energía, se estima el ahorro de toneladas de CO_2 en 2021.

MATERIAL Y MÉTODOS

Protocolo de monitoreo

Con la finalidad de estimar el ahorro de emisiones de dióxido de carbono fue necesario llevar a cabo un monitoreo constante de la planta fotovoltaica de la facultad, se consideró el siguiente protocolo:

1. Monitoreo de producción: se realiza un seguimiento continuo de la energía generada.

2. Factor de emisión: representa la cantidad de emisiones de algún gas de efecto invernadero, en este caso CO_2 , que se habrían producido si la misma cantidad de energía se hubiera generado utilizando métodos convencionales. Este factor generalmente es proporcionado por un organismo regulatorio, en este caso se utilizó el dado por la Secretaría del Medio Ambiente [9].

3. Cálculo del ahorro de emisiones: con el factor de emisiones y la energía generada en el periodo estudiado, se estimó la cantidad de emisiones que se habrían dado si la energía se hubiera generado a través de alguna fuente convencional.

Estimación de ahorro de emisiones

En la literatura se plantean diferentes ecuaciones para determinar el factor de emisiones, así como la cantidad emisiones de CO_2 ahorradas [5], [9]–[11]. En [12] se define el factor de emisión como se muestra en la Ec. 1.

$$FE_y = \frac{\sum(EG_n * FE_{comb,n} * K) / \eta_n}{EG_y} \quad Ec.1$$

Donde:

FE_y : Factor de emisión de CO_2 de la red eléctrica de la región en el año y (tCO_2/MWh).

EG_n : Energía Generada por la Planta de Generación n en el año y (MWh).

$FE_{comb,n}$: Factor de emisión correspondiente al combustible utilizado en la planta de generación n (tCO_2/GJ).

K : Constante de conversión 3.6 GJ/MWh .

η_n : Eficiencia promedio de generación de la planta generadora n durante el año y (%).

EG_y : Energía Generada por la red eléctrica de la región durante el año y (MWh).

El propósito del factor de emisión es determinar la cantidad de CO_2 emitido en relación con el tipo de combustible utilizado y la cantidad de energía generada. En este estudio, se emplea el factor de emisiones del Sistema Eléctrico Nacional, el cual fue publicado por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales en el año 2021 [9], [13].

Con la finalidad de observar el desarrollo de las emisiones de CO_2 relacionadas con la producción de energía, se determinan las toneladas de CO_2 que hubieran sido emitidas por fuentes de energía convencionales. Esto se logra mediante el cálculo utilizando el indicador del factor de emisión de CO_2 y la cantidad de energía generada por la planta fotovoltaica durante el año específico en consideración.

$$E_{CO_2} = \sum(EG_n * FE_y) \quad Ec.2$$

Donde:

E_{CO_2} : Cantidad de CO_2 emitidas por la red de generación de energía (toneladas de CO_2).

FE_y : Factor de emisión de CO_2 de la red eléctrica de la región en el año y . (tCO_2/MWh).

EG_n : Energía generada por la planta de generación n en el año y . (MWh).

RESULTADOS

Se empleó el factor de emisiones difundido en 2021 por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, con un valor de 0.435 tCO_2e / MWh [9], [13]. Para calcular la disminución de toneladas de CO_2 emitidas durante el intervalo de enero a diciembre del mismo año, se sustituyó el factor de emisiones en la Ec. 2, haciendo uso también de los valores medidos de generación, obtenidos del informe de mediciones de la planta fotovoltaica de la FCITEC, elaborado internamente. La reducción anual de emi-

siones en el período examinado se determina como se muestra en la Ec. 3.

$$E_{CO_2} = 341.566 \text{ MWh} \times 0.435 \text{ tCO}_2\text{e/MWh} \quad \text{Ec.3}$$

$$E_{CO_2} = 148.58121 \text{ tCO}_2\text{e}$$

En la Tabla 1 se detallan los valores de ahorro de emisiones de CO₂ por mes.

Es importante recalcar que, en Baja California, los meses de primavera y verano suelen tener mayor radiación solar, por lo que se espera que haya una mayor generación de energía solar durante estos períodos, es decir, los meses de abril a septiembre. Por otra parte, es importante, aclarar que en agosto del 2021 estaba programado el mantenimiento a la planta fotovoltaica, sin embargo, no se le dio, lo que se ve reflejado en una disminución en la energía generada. Ese comportamiento se ilustra en la Figura 1, donde se observa una caída en la energía generada a partir de agosto de 2021 y se mantiene durante los meses de otoño e invierno.

Tabla 1. Energía eléctrica generada por la granja FV de enero 2021 a diciembre 2021 y ahorro de CO₂.

Factor de emisión: 0.435 CO₂e/MWh		
Mes	Energía generada por la granja FV (kWh)	Kg de CO₂
Enero-21	19,004	8266.786763
Febrero-21	34,229	14889.59325
Marzo-21	49,188	21396.9105
Abril-21	54,775	23827.0032
Mayo-21	58,444	25423.09324
Junio-21	34,763	15121.8963
Julio-21	28,178	12257.32016
Agosto-21	15,017	6532.507013
Septiembre-21	7,336	3191.061038
Octubre-21	13,317	5792.77755
Noviembre-21	12,735	5539.623863
Diciembre-21	14,581	6342.544688
Total	341,567	148,581.11
ECO₂	148.58 tCO₂e	

Fuente: Elaboración propia.



Figura 1. Energía generada por la planta fotovoltaica en el año 2021

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

El propósito de este estudio consiste en calcular la reducción de emisiones de CO₂ asociada a la generación de energía por la instalación fotovoltaica de la FCITEC. El resultado obtenido es de 148.58 toneladas de CO₂ equivalente, equiparable a las emisiones de CO₂ de 27 personas durante un año. Es crucial destacar que la planta no ha alcanzado su capacidad máxima de generación, y factores como la inoperatividad de algunos paneles han contribuido a una producción inferior a la estimada.

Adicionalmente, es relevante señalar que las plantas convencionales no solo emiten dióxido de carbono (CO₂) sino también otros gases de efecto invernadero como metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O). Por ende, se contempla en futuras investigaciones la estimación de ahorros en emisiones de estos gases.

BIBLIOGRAFÍA

[1] N. Jenkins and et al., *Embedded Generation. Institution of Engineering and Technology*, 2000. doi: 10.1049/pbpo031e.

[2] P. Khetrapal, "Distributed generation: A critical review of technologies, grid integration issues, growth drivers and potential benefits," *International Journal of Renewable Energy Development*, vol. 9, no. 2, pp. 189-205, Jul. 2020, doi: 10.14710/ijred.9.2.189-205.

[3] Pepermans. G., J. Driesen, D. Haeseldonckx, W. D'haeseleer, and R. Belmans, "Distributed generation definition benefits and issues," *Energy Policy*, vol. 33, no. 5, 2005.

[4] J. Marsden, "Distributed Generation Systems: A New Paradigm for Sustainable Energy," *IEEE*, 2011. Accessed: Nov. 02, 2023. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5754858>.

[5] J. Parreño1, O. Lara1, R. Jumbo1, H. Caicedo1, and D. Sarzosa1, "Diseño de un Módulo de Energía Solar

como Estrategia de Ahorro Energético y Disminución de la Emisión de CO₂,” Revista Científica A.S.A, vol. 2, no. 15, pp. 4-18, Jul. 2020, Accessed: Aug. 13, 2023. [Online]. Available: <https://revistas.uclave.org/index.php/asa/article/view/2849>.

[6] W. Vergara, J. V Fenhann, M. C. Schletz, and D. De Visión, “Carbono Cero América Latina,” 2016. Accessed: Aug. 13, 2023. [Online]. Available: <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/26305>.

[7] E. Sempris, Y. Sanchez, “Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático y Primer Informe Bienal de Actualización para Panamá.” Accessed: Aug. 13, 2023. [Online]. Available: <https://www.undp.org/es/panama/publications/terceracomunicaci%C3%B3n-nacional-sobre-cambio-clim%C3%A1tico>.

[8] I. Salinas, “Producirán 832 MWh de energía en la unidad Valle de las Palmas,” BOLETIN FCITEC. Accessed: Aug. 14, 2023. [Online]. Available: https://issuu.com/boletincitec/docs/boletin_56.

[9] Secretaría del medio ambiente y recursos naturales, “Aviso: Factor de Emisión en el Sistema Eléctrico Nacional 2021.” Accessed: Aug. 10, 2023. [Online]. Available: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/706809/aviso_fesen_2021.pdf.

[10] T. I. Serrano-Arevalo, “Planificación Estratégica para la Generación de Energía Eléctrica de Manera Sostenible,” Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia.

[11] B. A. Guevara Calderón, “Aprovechamiento de la Energía Solar para la Generación de Energía Eléctrica y Reducción de Emisiones de CO₂ en el Caserío Nuevo Eden – Yambrasbamba - Amazonas,” Universidad Nacional “Pedro Ruiz Gallo,” Lambayeque – Perú, 2018. Accessed: Aug. 13, 2023. [Online]. Available: <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/3182>.

[12] “3 Evaluación de las emisiones de CO₂ y el factor de emisión de CO₂ de la red eléctrica de Panamá”.

[13] Gerencia de LAPEM, Subdirección de Generación, and Subdirección de Programación, Guía para Determinar el Factor de Emisión de Bióxido de Carbono Equivalente para el Sistema Eléctrico Nacional Guía CFE SPA0063. México: Comisión Federal de Electricidad, 2016, pp. 1-10.