

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/352979212>

Sistema fotovoltaico interconectado a la red eléctrica para el ahorro de energía y el cambio en los patrones de consumo ante el confinamiento del COVID-19

Article in *Ra Ximhai* · June 2021

DOI: 10.35197/rx.17.03.2021.14.la

CITATIONS

0

READS

215

3 authors, including:



Lennin Amador Castro

Instituto Tecnológico de Los Mochis

6 PUBLICATIONS 6 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Román Edén Parra-Galaviz

Autonomous University of Sinaloa

23 PUBLICATIONS 14 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

SISTEMA FOTOVOLTAICO INTERCONECTADO A LA RED ELÉCTRICA PARA EL AHORRO DE ENERGÍA Y EL CAMBIO EN LOS PATRONES DE CONSUMO ANTE EL CONFINAMIENTO DEL COVID-19

PHOTOVOLTAIC SYSTEM INTERCONNECTED TO ELECTRICAL NETWORK FOR ENERGY SAVING AND THE CHANGES ENERGY CONSUMPTIONS PATTERNS DUE THE COVID-19 LOCKDOWN

Lennin Enrique **Amador-Castro**¹; Román Edén **Parra-Galaviz**²;
Claudia Selene **Castro-Estrada**³

Resumen

La energía solar fotovoltaica a diferencia de otras energías renovables, representa una de las alternativas más relevantes debido a su importancia, sostenibilidad y costo asequible, así como también una fuente primordial de electricidad de bajas emisiones proporcionando un funcionamiento óptimo de la red eléctrica. En este sentido, el presente texto tiene como objetivo exponer un trabajo científico especializado en el diseño de un sistema fotovoltaico (SFV) interconectado a la red eléctrica del Instituto Tecnológico de Los Mochis Campus Villa de Ahome

(ITLMCVA), para la reducción de los gases de efecto invernadero (GEI) producidos por el consumo de energía eléctrica, con la finalidad de formar una institución educativa sostenible. Asimismo debido a la situación ocasionada por la emergencia sanitaria, se desarrolla un análisis en el cambio de los patrones en el consumo de energía eléctrica en el Instituto Tecnológico de Los Mochis (ITLM) ante el confinamiento del COVID-19, los cuáles han provocado un incremento de la demanda en el uso doméstico y un decremento de la demanda en las instituciones educativas.

¹ Estudiante del Doctorado en Estudios para la Sostenibilidad y Medio Ambiente de la Universidad Autónoma Indígena de México. Correo: lennin.ac@mochis.tecnm.mx

² Doctor en Ciencias en Desarrollo Sustentable de Recursos Naturales de la Universidad Autónoma Indígena de México.

³ Doctora en Ciencias en Desarrollo Sustentable de Recursos Naturales de la Universidad Autónoma Indígena de México.

Palabras clave: energías renovables, gases de efecto invernadero (GEI), demanda eléctrica, patrones de consumo de energía, paneles solares.

Abstract

Photovoltaic solar energy, unlike other renewable energies, represents one of the most relevant alternatives due to its importance, sustainability and affordable cost, as well as a primary source of low-emission electricity providing optimal operation of the electrical network. In this sense, the present text aims to present a scientific work specialized to design a photovoltaic system (FVS) interconnected in the ITLMCVA (Instituto Tecnológico de Los Mochis Campus Villa de Ahome) electrical network, for the reduction of

greenhouse gases (GHG) produced by the consumption energy in order to develop a sustainable educational institution. Likewise, as a result of the changes caused by the health emergency, an analysis is being carried out on the changes in the electrical energy patterns consumption in ITLM (Instituto Tecnológico de Los Mochis) as a consequence of COVID-19 lockdown, which have caused an increase electric demand in domestic use and a decrease electric demand in private and public educational institutions.

Key words: renewable energies, greenhouse gases (GHG), electric demand, consumption energy patterns, solar panels.

INTRODUCCIÓN

Debido a que los costos de las energías solares fotovoltaicas han caído en contraste con el precio de los combustibles fósiles, es importante apostar por la inversión de fuentes de energías renovables. Tan solo las emisiones a nivel mundial de CO₂ relacionadas con la energía aumentaron 1.6% en 2017, esto significa que la contaminación del aire relacionada con la energía siga provocando muertes prematuras cada año (IEA, 2018). Por tal motivo, el objetivo de esta investigación, nace de la necesidad de realizar un trabajo especializado para la reducción de las emisiones indirectas de CO₂ en el consumo de energía de la red eléctrica en organismos públicos, privados e instituciones educativas, por lo que se propone el diseño de un sistema fotovoltaico que permita suministrar la demanda eléctrica requerida, pues dicho sistema aporta una fuente primordial de energía eléctrica de bajas emisiones. Para ello, se realizó la búsqueda de los consumos de energía facturados por la fuente suministradora de servicio, Comisión Federal de Electricidad (CFE).

Un SFV produce electricidad necesaria aprovechando la radiación solar a través de un arreglo de paneles solares, siendo esta energía limpia sin consumir combustibles fósiles, por lo que deben recolectar la mayor cantidad de energía solar para obtener la mejor eficiencia, exigiendo que los paneles se encuentren perpendicularmente a los rayos solares (Arreola, Quevedo, & Castro, 2015). En

la actualidad existen sistemas fotovoltaicos basados en celdas de silicio monocristalino o policristalino, cuya diferencia radica principalmente en la pureza que tiene el silicio para la fabricación de las celdas, la cual entre menos impurezas tenga dicho elemento, mayor será su rendimiento (Cabezas-Maslanczuk & Fasoli-Tolosa, 2017). En consecuencia, este trabajo se desarrolló para el Instituto Tecnológico de Los Mochis Campus Villa de Ahome (ITLMCVA), ya que representa la primera institución de educación superior en comunidades rurales con la finalidad de formar una sociedad educativa sostenible en el municipio de Ahome.

Por otro lado la pandemia provocada por el COVID-19 a principios de 2020, originó que todos los países del mundo tomaran las medidas necesarias ante la emergencia sanitaria como lo fue el distanciamiento social, provocando la reducción en el consumo de energía entre el 6% y 32% (el 23% para el caso de México) (Campos-Vazquez & Esquivel, 2020), ocasionando cambios en los centros de distribución de la energía eléctrica, lo que ha originado tomar como priorización la participación de las energías renovables. Las medidas de distanciamiento afectaron de forma desigual a los diferentes sectores que demandan energía, siendo el residencial el más afectado, incrementando su demanda en gran medida al trabajo en casa (*home-office*) implementado por varias empresas, intensificando el uso de dispositivos electrónicos durante todo el día (OLADE, 2020). Sin embargo, muchas empresas al permanecer cerradas dejaron de demandar energía eléctrica, reduciendo considerablemente el consumo promedio mensual, tal es el caso de las instituciones educativas que ante el distanciamiento social las emisiones de CO₂ disminuyeron por la emergencia sanitaria, en consecuencia por la reducción en el consumo de energía eléctrica por el cierre de los inmuebles. Así mismo, en el informe *Global Energy Review 2020* de la Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés) recalca que ante la crisis económica originada por el SARS-CoV-2, ésta se puede contrarrestar en el diseño de medidas de estímulo que vinculen los esfuerzos de recuperación económica con las energías renovables (IEA, 2020a), por lo que una de las razones para mantener este compromiso hacia el cambio con fuentes más limpias, es que la demanda de energía es cada vez mayor ante el incremento acelerado de la población mundial y la tendencia es seguir aumentado. Por lo tanto, la clave para salir de esta crisis será determinante por el aumento en el uso de energías renovables, contribuyendo a la reducción en la demanda de combustibles fósiles para la generación de energía, de esta manera se podrá recuperar la economía manteniendo los gases de efecto invernadero (GEI) a la baja. No obstante, otro aspecto importante a considerar es el apoyo social y político, pues hoy en día las energías limpias han reducido sus costos 10 veces más, lo cual las coloca en un punto clave a la hora de competir con los combustibles fósiles como el petróleo y el carbón, utilizadas principalmente para alimentar las centrales eléctricas, que debido al debilitamiento en su precio por la

crisis sanitaria, propicia que las energías limpias seguirán siendo una prioridad cuando la demanda de energía se recupere tras el impacto del coronavirus.

De acuerdo con la agencia internacional de energía todos los combustibles excepto las energías renovables experimentaron una caída en la demanda del consumo energético durante el primer trimestre de 2020, esto en gran medida al bajo consumo de electricidad en el sector industrial (Figura 1). Sin embargo, ante un posible rebrote de la pandemia harían más difícil la recuperación de la demanda en los combustibles, por lo que las energías limpias representarían la única fuente de energía para experimentar un crecimiento en la demanda eléctrica debido a la disminución de los costos operativos, y de esta forma recuperar parte de la crisis económica.

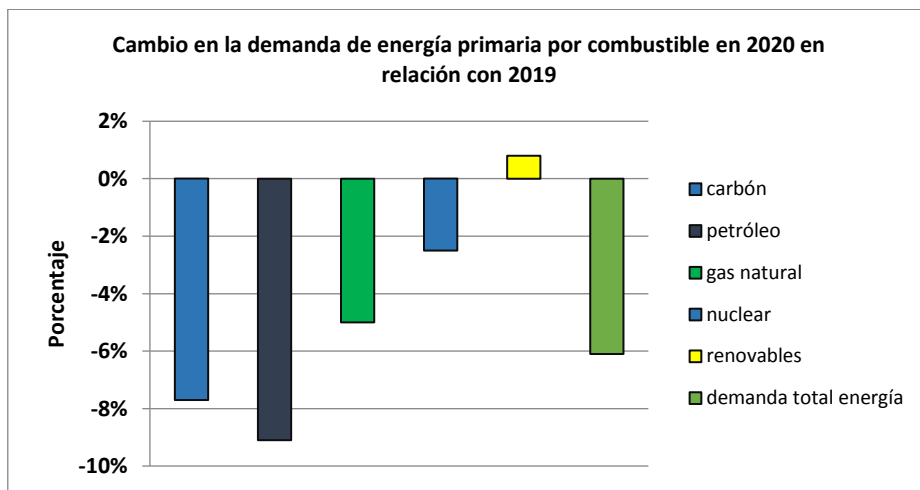


Figura 1. Cambio en la demanda de energía por combustibles en 2020 en relación con 2019.

Fuente: (IEA, 2020b).

Por otro lado, a medida que la crisis económica aumentaba por la emergencia sanitaria, las primeras indicaciones tomadas ante el distanciamiento social provocaron una caída en la demanda de energía alrededor del 15%, pero conforme se fueron tomando medidas de confinamiento más estrictas la demanda cayó de casi un 25% en un punto intermedio hasta un 35% (Figura 2). En base a esto, la finalidad de presentar un análisis sobre la implementación de un sistema fotovoltaico, este trabajo tiene también como objetivo garantizar el acceso a una energía asequible, sostenible y no contaminante, de acuerdo a las metas establecidas en los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2030, pues la falta de

acceso a la energía puede obstaculizar los esfuerzos por contener la pandemia generada por el SARS-CoV-2 (ONU, 2021).

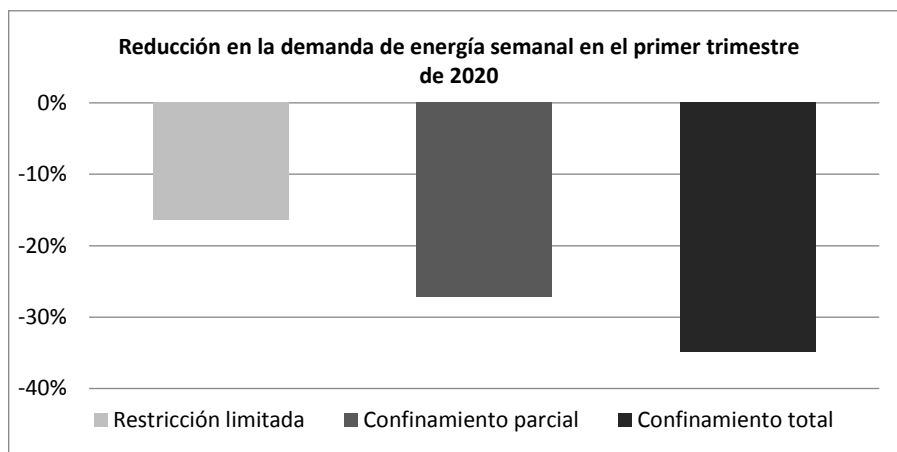


Figura 2. Reducción en la demanda de energía semanal en el primer trimestre de 2020.

Fuente: (IEA, 2020a).

MÉTODOS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación se llevó a cabo en las instalaciones del ITLMCVA, ubicado en la Villa de Ahome, además se realizó una revisión literaria donde se presentan conceptos relacionados con el consumo de energía eléctrica, ahorro de energía, emisiones de GEI, así como la recopilación de datos históricos en el consumo de energía de la institución proporcionada por la fuente suministradora de servicios.

La metodología utilizada para la contabilización de las emisiones indirectas, producto de la compra de electricidad, se basa en los protocolos internacionales reconocidos en la norma mexicana NMX-SAA-14064-1-IMNC-2007/ISO 14064-1:2006, siendo las variables de interés el consumo de energía eléctrica por *kilowatt-hora* (kWh), las toneladas de dióxido de carbono (tCO₂) y el factor de emisión (F_E). Este último se empleó a partir de la metodología de la Secretaría de Energía (SEMARNAT, 2016), la cual considera la generación de energía de las centrales eléctricas suministrada a la red eléctrica nacional de acuerdo a lo estipulado a la fracción XLIV del artículo 3 de la Ley de la Industria Eléctrica (SENER, 2017).

El consumo de energía eléctrica se dividió de acuerdo a los periodos de facturación de la CFE, los cuales son: periodo base, periodo intermedio y periodo de punta (Tabla 1). Estos, están definidos por cada una de las regiones tarifarias de nuestro país para distintas temporadas del año y horarios, en nuestro caso, el ITLMCVA cuenta con una tarifa Gran Demanda en Media Tensión Horaria (GDMTH) y se encuentra ubicada en la región Noroeste, que durante el verano y el invierno los periodos base, intermedio y punta están determinados por los siguientes horarios de operación (CFE, 2018):

Tabla 1. Horarios de operación de los periodos de base, intermedio y punta para la región Noroeste

DIAS DE LA SEMANA	BASE		INTERMEDIO		PUNTA	
	VERANO	INVIERNO	VERANO	INVIERNO	VERANO	INVIERNO
Lunes a Viernes	0:00-6:00	0:00-6:00	6:00-20:00	6:00-18:00	20:00-22:00	18:00-22:00
			22:00-24:00	22:00-24:00		
Sábado	0:00-7:00	0:00-8:00	7:00-24:00	8:00-19:00		19:00-21:00
				21:00-24:00		
Domingo y día festivo	0:00-19:00	0:00-18:00	19:00-24:00			

Fuente: (CFE, 2018).

A continuación se presenta el modelo matemático utilizado para la estimación de las emisiones de CO₂ producidas por el consumo de energía eléctrica, basadas en la Norma NMX-SAA-14064-1-IMNC-2007 (DOF, 2007):

$$GEI(tCO_2) = \sum_{i=1}^n [(x_i \cdot F_E \cdot F_C)] \quad (\text{ec. 1})$$

Donde:

x_i = Representa los datos de la actividad generado por el consumo de energía eléctrica (MWh).

F_E = Factor de emisión eléctrico (KgCO₂/MWh).

F_C = Factor de conversión.

Para el cálculo del factor de emisión eléctrico se toma el promedio de todas las plantas generadoras de electricidad, basándose en el consumo total de combustible y en la generación de electricidad neta entregada a la red, incluyendo tanto a las plantas (hidroeléctricas, termoeléctrica, geotérmicas, biomasa) de menor costo de operación como las más utilizadas, que de acuerdo con (CDM, 2018) es determinada de la siguiente manera:

$$F_E = \frac{\sum FC_{i,y} \cdot NCV_{i,y} \cdot EF_{CO2,i,y}}{EG_y} \quad (\text{ec. 2})$$

Donde:

$FC_{i,y}$ = Cantidad de combustible fósil tipo i consumido en el sistema eléctrico en un año y (masa o unidad de volumen).

$NCV_{i,y}$ = Valor calorífico neto (contenido energético) del combustible fósil tipo i en el año y (GJ/masa o unidad de volumen).

$EF_{CO2,i,y}$ = Factor de emisión de CO₂ del combustible fósil tipo i en un año y (tCO₂/GJ).

$EF_{CO2,i,y}$ = Electricidad neta generada y entregada a la red por todas las fuentes de energía que sirven al sistema en un año.

Diseño del Sistema Fotovoltaico (SFV)

El diseño del SFV fue realizado en relación al consumo de energía anual de 79,933 kWh generado en el año 2019 por el ITLMCVA (Amador, Parra, & Castro, 2021). Dichos datos son tomados del historial de consumo de energía eléctrica del plantel, los cuales corresponden al ciclo de facturación realizado por la CFE para el periodo de análisis.

Con el fin de reducir el consumo de energía se propone el diseño de un SFV interconectado a la red, de esta manera, la energía en corriente directa (c.d.)

generada por los módulos fotovoltaicos es convertida en corriente alterna (c.a.), a la tensión y frecuencia de la red eléctrica sincronizándola con ella. Por lo tanto, este sistema al conectarse en paralelo a la red, permitirá que cualquier carga conectada al inmueble podrá ser alimentada por cualquiera de las dos fuentes o por ambas de manera simultánea si es requerido, dependiendo de los valores instantáneos de carga y potencia del SFV. La Figura 3, muestra el diagrama a bloques de un SFV interconectado a la red, en el cual las flechas indican el flujo de energía.

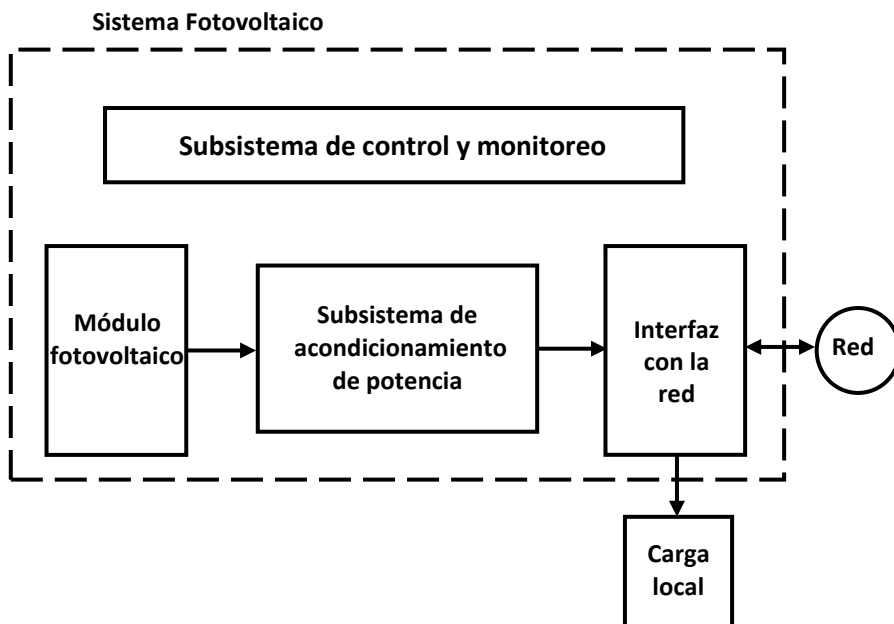


Figura 3. Diagrama a bloques de un sistema interconectado a la red.

Fuente: (CFE, 2008).

Un parámetro importante a considerar en el diseño de este sistema, es la energía diaria que debe generar cada módulo fotovoltaico, el cual es determinado por la relación entre la energía eléctrica consumida por el ITLMCVA necesaria para cubrir la demanda de la red eléctrica y los días correspondientes a un año (ESOMEX, 2018):

$$E_m = \frac{D_{anual}}{365} \quad (\text{ec. 3})$$

E_m = Energía generada por cada módulo fotovoltaico en kWh (kilowatts-hora).

D_{anual} = Consumo de energía eléctrica anual en la red eléctrica en kWh (kilowatts-hora).

Por otro lado, también es necesario conocer el número de módulos fotovoltaicos requeridos en el sistema, por lo tanto, este debe estar en función de la potencia necesaria capaz de ser suministrada, su eficiencia y las horas de sol pico promedio (ESOMEX, 2018):

$$P_m = \frac{E_m}{HSPP} + \frac{E_m}{HSPP} (1 - \eta) \quad (\text{ec. 4})$$

P_m = Potencia módulo fotovoltaico en W (Watts).

$HSPP$ = Horas de sol pico promedio en que la luz solar incide sobre el módulo fotovoltaico.

Por último, empleando las ecuaciones anteriores (ec.3, ec. 4) y después de un procedimiento de simplificación matemático se obtiene la ecuación que representa el número de módulos solares requeridos en el SFV:

$$N_m = D_{anual} \cdot \left(\frac{2-\eta}{365 \cdot HSPP \cdot P_n} \right) \quad (\text{ec. 5})$$

P_n = Potencia nominal del módulo fotovoltaico dado por el fabricante en kW (kilo-watts).

η = Eficiencia del módulo fotovoltaico (valor entre 0 y 1).

N_m = Cantidad de módulos solares requeridos para el SFV.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis en la generación de energía con un Sistema Fotovoltaico

Las características del SFV propuesto para la disminución en el consumo de energía son mostradas en el Tabla 2. Este sistema está integrado por 66 módulos solares en su totalidad, dividido en tres arreglos de 22 módulos conectados en serie para generar un voltaje de 822.18 V y una corriente eléctrica de 8.71 A, esto equivale a una potencia de 7.16 kW. Finalmente, los tres arreglos mostrados en la Figura 4 son conectados en paralelo para mantener el voltaje anterior e incrementar la corriente en 26.13 A, permitiendo generar una potencia eléctrica total del sistema de 21.48 kW considerando pérdidas por cableado de acuerdo a la NOM-001-SEDE-2012 (DOF, 2014). De esta forma se generará una capacidad para cubrir el 50% del consumo de energía promedio anual, lo que equivale al 70% de la energía que se consume en el periodo intermedio.

Tabla 2. Generación de energía del SFV de 66 módulos solares interconectado a la red eléctrica

GENERACION DE ENERGIA DEL SFV				
PARÁMETROS	ARREGLO 1	ARREGLO 2	ARREGLO 3	TOTAL
VOLTAJE	822.18 V	822.18 V	822.18 V	822.18 V
CORRIENTE	8.71 A	8.71 A	8.71 A	26.13 A
POTENCIA	7,161.16 W	7,161.16 W	7,161.16 W	21,483.47 W

Fuente: Elaboración propia.

En este sistema se utilizaron los parámetros de fabricación del módulo de la marca EPCON modelo EPL-320/350P-72, compuesto por 72 celdas fotovoltaicas policristalinas para producir un voltaje de 37.87 V y una corriente de 8.71 A, lo que equivale a una potencia eléctrica de 330 W (Tabla 3).

Tabla 3. Características eléctricas del módulo solar compuesto

CARACTERISTICAS DEL MÓDULO	
PARÁMETROS	MÓDULO
VOLTAJE	37.87 V
CORRIENTE	8.71 A
POTENCIA	330 W

Fuente: Elaboración propia.



Figura 4. Diagrama esquemático del SFV serie-paralelo.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Proyección de energía del SFV interconectado a la red eléctrica del ITLMCVA

PROYECCIÓN DE PRODUCCIÓN DE ENERGÍA					
MES	HSPP	DIAS	FUENTE kW	kWh SFV IDEAL	kWh SFV IDEAL (-15%)
Enero	4.63	31	22	3,116	2,649
Febrero	5.42	29	22	3,412	2,901
Marzo	6.4	31	22	4,307	3,661
Abril	6.78	30	22	4,416	3,754
Mayo	7.53	31	22	5,068	4,308
Junio	7.67	30	22	4,996	4,246
Julio	6.53	31	22	4,395	3,736
Agosto	5.92	31	22	3,984	3,387
Septiembre	5.73	30	22	3,732	3,172
Octubre	6.35	31	22	4,274	3,633
Noviembre	5.25	30	22	3,419	2,906
Diciembre	4.65	31	22	3,130	2,660
ENERGÍA ANUAL GENERADA (kWh)				48,249	41,012

Fuente: Elaboración propia.

Para estimar la proyección de energía del SFV es necesario realizar un análisis mensual para la generación de energía, la cual depende estrictamente del recurso solar, la cantidad de días del mes y las horas sol pico promedio (HSPP); esto último se refiere al tiempo promedio estimado en que la luz solar incide de forma más eficiente sobre cada una de las celdas del módulo fotovoltaico. Por consiguiente el SFV generará una energía de 48,249 kWh anuales en condiciones ideales de funcionamiento, sin embargo, en la práctica es necesario considerar factores que afectan el rendimiento de cada módulo fotovoltaico, tales como las condiciones climáticas que se presentan a lo largo del año. Para contemplar periodos en los cuales las condiciones climatológicas no ofrecen una irradiación solar eficiente, se consideró un 15% de pérdidas, de esta forma, el SFV de 66 módulos se estima que genere una energía anual de 41,012 kWh (Tabla 4).

Por lo tanto, si dividimos el consumo de energía de la red eléctrica del ITLMCVA en los tres periodos tarifarios que maneja la CFE, podemos calcular

las emisiones de CO₂ empleando la ecuación 1 (ec. 1), este permitirá establecer la relación entre el consumo de energía y las emisiones de carbono de cada mes en el año 2019.

Tabla 5. Consumo de energía y emisiones de CO₂ de la red eléctrica del ITLMCVA en los periodos base, intermedio y punta

AÑO	MES	KILOWATTS-HORA (kWh)			Emisiones CO ₂ (Toneladas)		
		BASE	INTERMEDIO	PUNTA	BASE	INTERMEDIO	PUNTA
2019	Enero	972	1,544	431	0.49	0.78	0.22
2019	Febrero	989	2,504	471	0.50	1.26	0.24
2019	Marzo	934	2,840	423	0.47	1.43	0.21
2019	Abril	978	3,262	261	0.49	1.65	0.13
2019	Mayo	1,634	7,014	330	0.83	3.54	0.17
2019	Junio	1,511	2,900	227	0.76	1.46	0.11
2019	Julio	1,206	1,888	237	0.61	0.95	0.12
2019	Agosto	1,764	6,846	424	0.89	3.46	0.21
2019	Septiembre	2,200	10,518	506	1.11	5.31	0.26
2019	Octubre	1,583	9,711	572	0.80	4.90	0.29
2019	Noviembre	1,173	5,176	673	0.59	2.61	0.34
2019	Diciembre	826	2,039	366	0.42	1.03	0.18
	76,933	15,770	56,242	4,921	8.0	28.4	2.5
Consumo Anual (kWh)		Consumo total por periodo			Emisiones totales de CO ₂ por periodo		

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos en la Tabla 5 muestran que el mayor consumo de energía eléctrica se da en el periodo intermedio, debido a que en este horario se encuentran un gran número de actividades en la institución, lo que genera 28.4 tCO₂ (toneladas de dióxido de carbono) representando el 73.1% del total de las emisiones. Mientras que el periodo base origina 8 tCO₂ representando el 20.5% del total y el periodo de punta 2.5 tCO₂ lo que representa el 6.4% del total de las emisiones.

Por otro lado, si analizamos la Figura 5, esta muestra la comparación del consumo de energía de la red eléctrica del ITLMVCA en el periodo base antes y después de usar un SFV, por lo que se puede apreciar una reducción de energía

durante los meses de febrero, abril, julio y agosto representando un 26% de ahorro energético. En cambio durante el periodo intermedio, los beneficios de emplear un SFV se ven reflejados durante los meses de enero, febrero, abril, junio y septiembre, esto debido a que dichos puntos en la Figura 6 se encuentran por debajo del *eje y*, representando una producción de energía eléctrica del SFV mayor a la suministrada por CFE, esto significa un ahorro de energía promedio del 73% y una reducción en la facturación durante los meses antes mencionados.

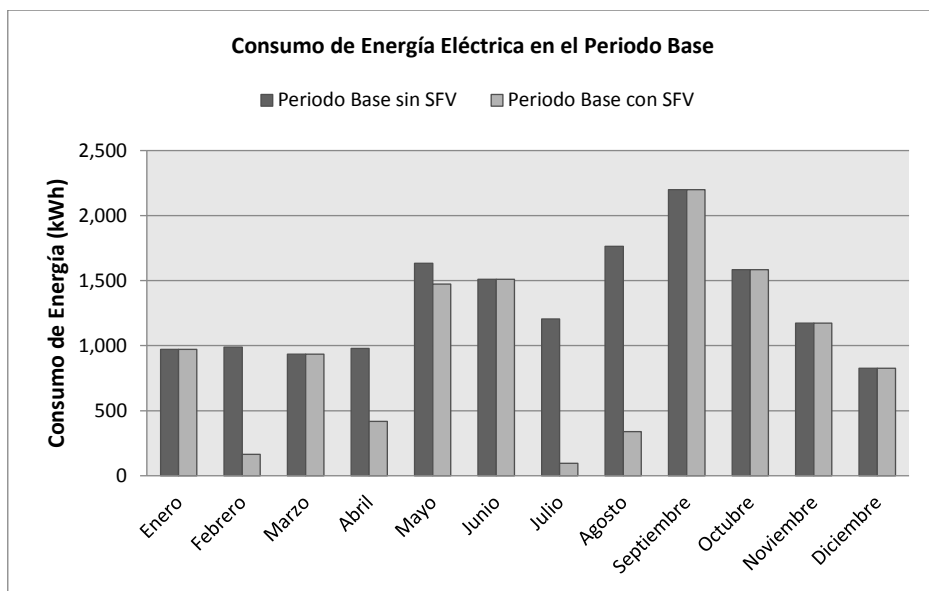


Figura 5. Consumo de energía de la red eléctrica del ITLMCVA con y sin SFV en el periodo base en 2019.

Fuente: Elaboración propia.

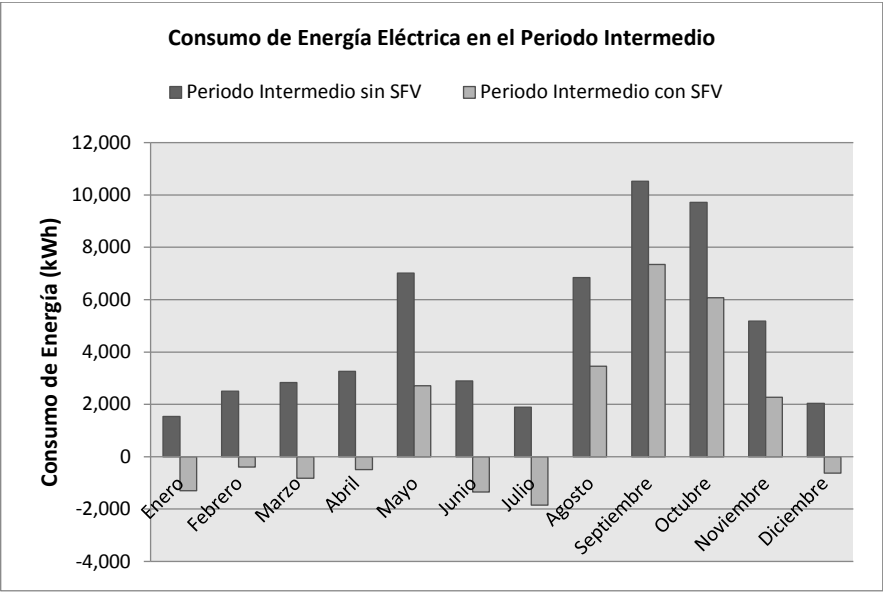


Figura 6. Consumo de energía de la red eléctrica del ITLMCVA con y sin SFV en el periodo intermedio en 2019.

Fuente: Elaboración propia.

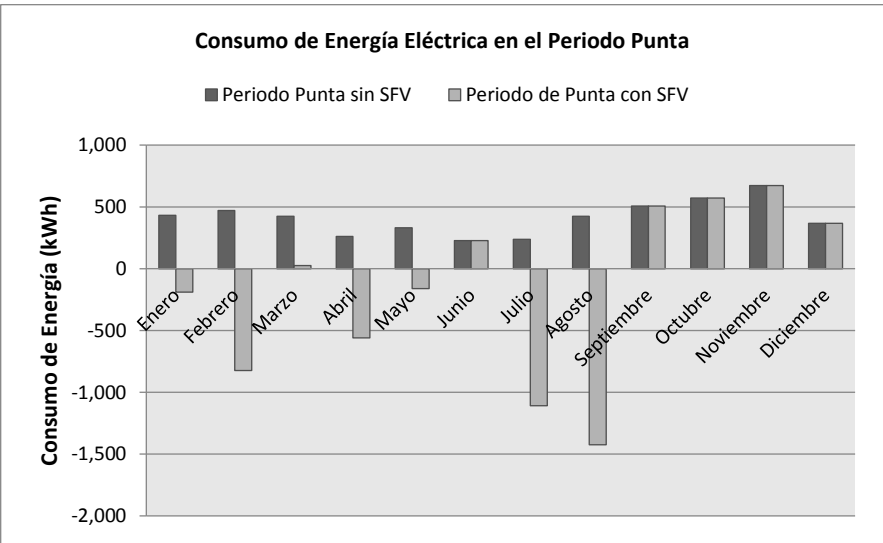


Figura 7. Consumo de energía de la red eléctrica del ITLMCVA con y sin SFV en el periodo de punta en 2019.

Fuente: Elaboración propia.

En consecuencia, la Figura 7 muestra un ahorro mayor de energía en el periodo de punta durante los meses de enero, febrero, marzo, abril, junio y julio, y al igual que en el periodo intermedio, estos meses al encontrarse por debajo del eje y de la gráfica representan un remanente en la producción de energía del SFV, lo que significa un ahorro promedio del 137% y una reducción en la facturación durante los meses antes mencionados. Sin embargo, debido que el horario de operación de este periodo no cae dentro de las actividades del plantel, no influye directamente por si solo en la demanda facturable.

Además de eso, si comparamos las emisiones de CO₂ antes y después de usar el SFV, ambas curvas muestran un comportamiento similar, sin embargo, se aprecia un decremento mayor en las emisiones de dióxido de carbono en cada uno de los meses durante un año. Solo en mayo, agosto, septiembre, octubre y noviembre se encuentran por arriba de 1.0 tCO₂ mensual, lo que representa una reducción promedio anual del 86% de las emisiones (Figura 8).

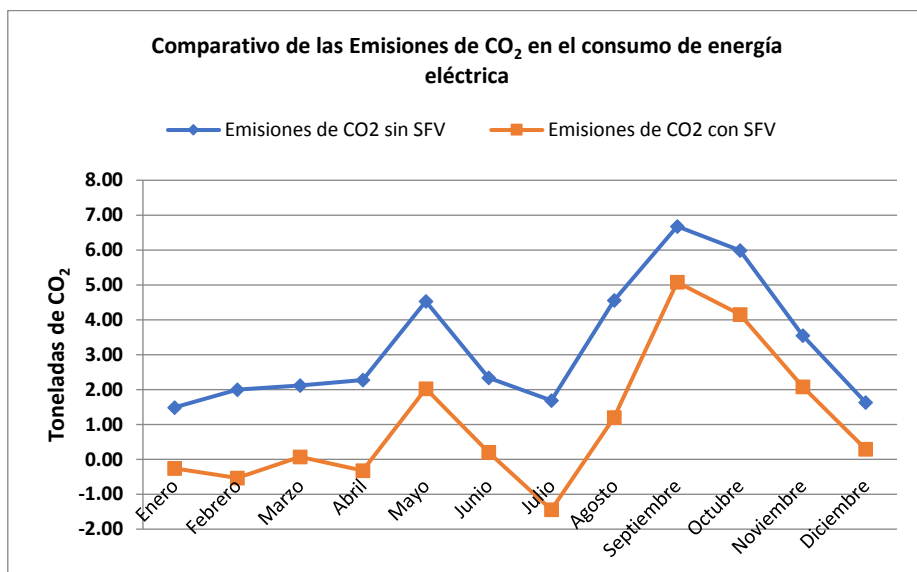


Figura 8. Comparativo de las emisiones de CO₂ en el consumo de energía eléctrica del ITLMCVA con y sin SFV en 2019.

Fuente: Elaboración propia.

Mientras tanto, los porcentajes de reducción en el costo-facturación y en las emisiones de CO₂ utilizando un SFV conectado a la red son mostrados en la Figura 9, siendo julio el de mayor ahorro y disminución de las emisiones de

dióxido de carbono, representado por un 93% y 186% respectivamente. Esto se debe en gran medida a que la energía producida por el SFV excede a la suministrada por la CFE durante este periodo, generando así un remante de energía para ser utilizado en el próximo mes, de esta manera tener un superávit en la generación de energías limpias y por consiguiente una mayor reducción de las emisiones de CO₂ en julio. En cambio septiembre representa el mes con menos ahorro en el costo-facturación, así como una menor reducción en las emisiones de dióxido de carbono con 19% y 24% respectivamente, debido a que el remante de energía para el periodo intermedio no es mayor a la proporcionada por la CFE, lo que genera un déficit en la generación de energías limpias. Esto es generalmente a que septiembre representa uno de los meses de mayor actividad en el consumo de energía eléctrica de la institución, pues el encendido de los aires acondicionados es constante, lo que impide obtener un remanente considerable. Por lo anterior podemos destacar que las disminuciones de las emisiones de dióxido de carbono son mucho mayores que los ahorros en el costo-facturación de energía eléctrica, a causa de que las emisiones de CO₂ están en función del consumo de energía y son directamente proporcionales a los kilowatts-hora utilizados. Sin embargo, cuando la CFE realiza la facturación mensual del recibo de luz, este depende de otras variables como el factor de potencia, la demanda de energía, los cargos fijos mensuales, y los cargos por distribución y capacidad.

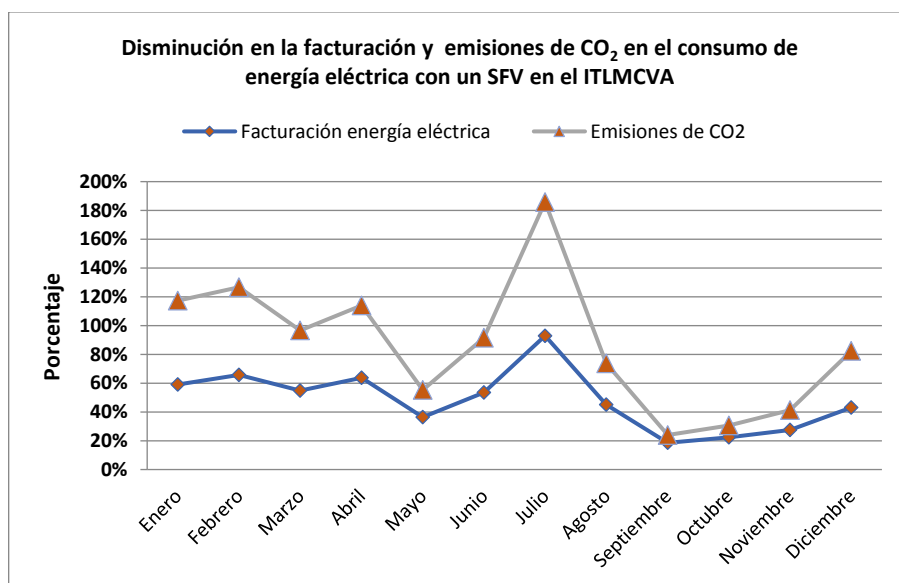


Figura 9. Disminución en el costo-facturación con respecto a las emisiones de CO₂ en el consumo de energía de la red eléctrica del ITLMCVA con un SFV en 2019.

Fuente: Elaboración propia.

El cambio en los patrones del consumo de energía de la red eléctrica ante el confinamiento

Ante la situación del confinamiento debido a la pandemia provocada por el COVID-19, en nuestro país se experimentaron cambios relevantes en el consumo eléctrico tanto en hogares como en las instituciones públicas y privadas. De acuerdo con datos (IEA, 2018), el consumo de energía residencial representa la cuarta parte del total de la energía producida, por lo que dicho confinamiento obligó a realizar cambios en un uso continuo de la energía eléctrica en los hogares incrementando con ellos los cargos por facturación. No obstante para las instituciones educativas la situación fue diferente, ya que el distanciamiento social contribuyó a la reducción del consumo de energía ante la ausencia de estudiantes en todos los niveles educativos, que según datos del Centro Nacional de Control de Energía (CENACE), el consumo de electricidad comenzó a la baja durante la semana 14 del año 2020 fecha que coincidió con la declaratoria de la emergencia sanitaria.

De acuerdo a los datos mostrados en la Figura 10, antes del confinamiento (periodo enero-marzo 2020) la tendencia de las emisiones de CO₂ por concepto del consumo de energía en la red eléctrica del ITLM prácticamente era muy similar con el año anterior. Sin embargo, a partir de la semana 14 (abril 2020), el consumo de energía eléctrica cayó por debajo de 42,000 kWh mensuales, es decir, una disminución del 65% en la demanda de energía con respecto a 2019. Esto se traduce a un promedio mensual de emisiones de 20 tCO₂, mostrando una tendencia lineal durante el periodo de abril-diciembre de 2020. En cambio, si comparamos la relación existente entre la disminución de las emisiones de CO₂ para el periodo 2019-2020 (Figura 11), podemos observar que se tiene como mínimo una reducción del 50% de las emisiones de dióxido de carbono desde el inicio del confinamiento, siendo los meses de septiembre y octubre los más beneficiados con una disminución del 84% y 80% respectivamente. Sin lugar a dudas el distanciamiento social provocado por la pandemia del COVID-19 ha provocado grandes repercusiones a nivel mundial en lo económico así como desigualdad social, sin embargo, en cuanto al consumo de energía se refiere hemos notado una disminución, de ahí la importancia que las instituciones públicas y privadas apuesten más por la inversión e investigación de fuentes de energía renovables.

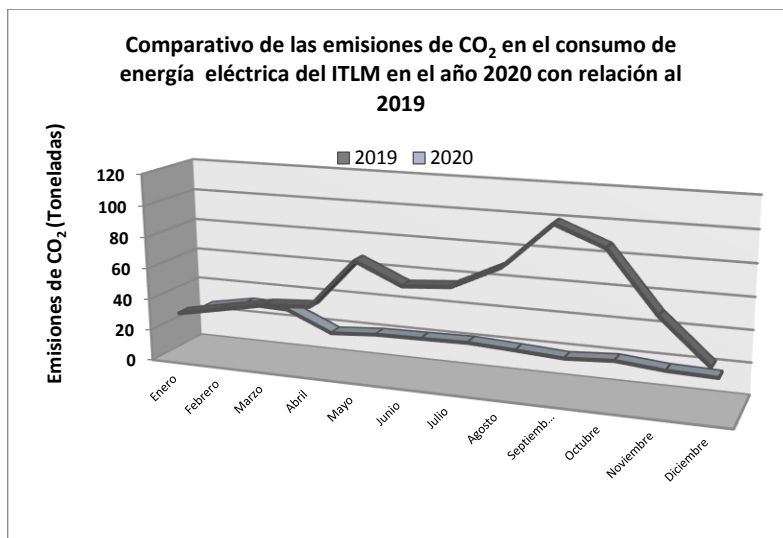


Figura 10. Comparativo de las emisiones de CO₂ en el consumo de energía eléctrica del ITLM en el año 2020 con relación al año 2019.

Fuente: Elaboración propia.

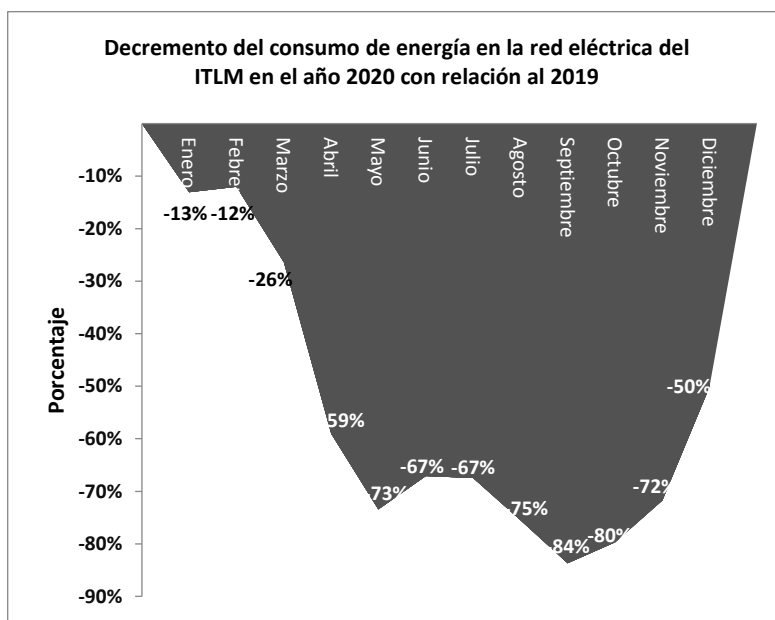


Figura 11. Decremento de las emisiones de CO₂ en el consumo de energía eléctrica del ITLM en el año 2020 con relación al año 2019.

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

A medida que los niveles dióxido de carbono se han incrementado considerablemente alterando el cambio climático, han provocado también la afectación de las economías de los países y las diferentes formas de vida. Para ello es necesario tomar medidas urgentes que aborden tanto la emergencia sanitaria en la que nos encontramos, así como la problemática climática con el fin de recuperar la economía salvando medios de subsistencia, además, que las empresas e instituciones educativas se comprometan a reducir las emisiones de carbono mejorando la eficiencia energética, apostando por la inversión de productos y servicios innovadores como lo son las fuentes de energías renovables.

El análisis propuesto en este trabajo de investigación para la disminución en el consumo de energía de la red eléctrica del ITLMCVA cumple los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2030 en acción por el clima, pues la implementación de un SFV ayudará a mitigar los efectos dañinos del cambio climático reduciendo las emisiones de CO₂ generando energía asequible y no contaminante, siendo esto de gran importancia ya que el 60% de las emisiones mundiales de GEI provienen de la energía. Así mismo, permitió identificar aquellos periodos como fuentes emisoras de GEI que repercuten mayormente en el consumo de energía, lo que servirá como una imagen referencial hacia otras instituciones que deseen cuantificar sus emisiones formando así una institución educativa sostenible.

Por lo tanto, el uso eficiente y adecuado de la energía permitirá optimizar la relación existente entre la energía consumida, el proceso para generarla y la demanda de los usuarios finales. Esto se logrará a través de medidas de nivel tecnológico, económico y los hábitos de la sociedad en general.

LITERATURA CITADA

- AENOR. (2012). *Guía metodológica para la aplicación de la norma UNE-ISO 14064-1:2006 para el desarrollo de inventarios de Gases de Efecto Invernadero en organizaciones*. Bilbao, España.: Ithobe.
- Alonso, S. (2006). Cambio global: Impacto de la actividad humana sobre el sistema Tierra. *CSIC*, 165.
- Amador, L., Parra, R., & Castro, C. (2021). Cálculo de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en la Red eléctrica del Tecnológico Nacional

- de México/IT de Los Mochis Campus Villa de Ahome (ITLMCVA). *Ra Ximhai*, 17(3), 331-353.
- Arreola, R., Quevedo, A., & Castro, M. (2015). Diseño, construcción y evaluación de un sistema de seguimiento solar para un panel fotovoltaico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1715-1727.
- Cabezas-Maslanczuk, M., & Fasoli-Tolosa, H. (2017). Diseño y evaluación de un panel solar fotovoltaico y térmico para poblaciones dispersas en regiones de gran amplitud térmica. *Ingeniería Investigación y tecnología*, Vol. XIX(2), 209-221.
- Campos-Vazquez, R., & Esquivel, G. (2020). Consumption and geographic mobility in pandemic times: Evidence from Mexico. *Covid Economics*, 218-252.
- CCA. (2018). *Comisión para la Cooperación Ambiental*. Recuperado el 17 de septiembre de 2019, de Emisiones Atmosféricas: <http://www.cec.org/sites/default/napp/es/country-profiles/mexico/power-plants-and-their-impact-on-climate-change.php>
- CDM. (2018). *TOOL07, Methodological Tool: Tool to calculate the emission factor for an electricity system*. Clean Development Mechanism (CDM).
- CEPAL. (2009). Cambio Climático y Desarrollo en América Latina y el Caribe Reseña 2009. *División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos 2009*.
- CFE. (2008). *Interconexión a la red eléctrica de baja tensión de sistemas fotovoltaicos*. México.
- CFE. (2018). *Programa de Ampliación y Modernización de las Redes Generales de Distribución 2018-2032*. México.
- De Buen Rodriguez, O. (2014). *Manual para la Implementación de un Sistema de Gestión de la Energía*. México, D.F.
- DOF. (2007). *Norma NMX-SAA-14064-1-IMNC-2007*. México: Diario Oficial de la Federación (DOF).
- DOF. (2014). *Ley de la Comisión Federal de Electricidad*. México: Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión.
- DOF. (2014). *Ley de la Industria Eléctrica*. 2014: Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión.
- DOF. (2014). *NOM-002-SEDE/ENER-2014*. México: Norma Oficial Mexicana, "Requisitos de seguridad y eficiencia energética para transformadores de distribución".
- ESOMEX. (2018). Curso de Sistemas de Energía Solar Interconectados a la Red Eléctrica. *Enería Solar México (ESOMEX)*. Los Mochis.

- Fonseca, R., Rodríguez, N., & Brenes, S. (2010). Estimación de Huella de Carbono de la Municipalidad de Barva. *Pensamiento Actual*, 81-92.
- IEA. (2018). *World Energy Outlook, Executive Summary*. Agencia Internacional de Energía (AIE). OCDE/AIE.
- IEA. (2020a). The impacts of the Covid-19 crisis on global energy demand and CO₂ emission. *Global Energy Review*, International Energy Agency (IEA).
- IEA. (2020b). The latest trend in energy and emissions in 2019. *Global Energy Review*, International Energy Agency (IEA).
- IEEGEIS. (2012). *Inventario Estatal de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de Sinaloa*. Mazatlán, Sinaloa.
- Ludueña, C., Miguel, C., & Schuschny, A. (2017). Cambio climático y mercados de carbono: repercusiones para los países en desarrollo. *CEPAL*, 116, 62-85.
- Miranda, U., Saldaña, R., & Romero, H. (2013). Panorama actual de los recursos energéticos renovables. *Boletín IIE, Panorama actual de las energías renovables*, 37(3), 101-107.
- OLADE. (2020). *Análisis de los Impactos de la Pandemia del COVID-19 sobre el sector energético de América Latina y el Caribe*. Organización Latinoamericana de Energía.
- ONU. (2021). *Objetivos de Desarrollo Sostenible 2030*. Recuperado el 25 de enero de 2021, de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>
- Piñeros, D., Parrado, C., & Aristizábal, A. (2017). Inventarios de gases efecto invernadero en la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano (Utadeo). *Mutis*, 7(2), 44-58.
- Ponce, C., & Cantú, M. (2012). Cambio Climático: Bases Científicas y Escepticismo. *Culcyt Cambio Climático*, 9(46).
- SEMARNAT. (2016). *Registro Nacional de Emisiones (RENE)*. Obtenido de <http://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/registro-nacional-de-emisiones-rene>
- SENER. (2017). *Prospectiva del Sector Eléctrico 2017-2031*. México.

AGRADECIMIENTOS

Al programa de Doctorado en Ciencias en Estudios para la Sostenibilidad y Medio Ambiente de la Universidad Autónoma Indígena de Sinaloa, al Tecnológico Nacional de México unidad Los Mochis y Campus Villa de Ahome y a la Comisión Federal de Electricidad por el apoyo recibido para la realización de este trabajo. Asimismo, a la Fundación Carlos Slim por la beca Telmex-Telcel.

SINTESIS CURRICULAR

Lennin Enrique Amador Castro

Maestro en Ciencias en Electrónica con orientación en Telecomunicaciones por el Centro de Investigación Científica y de Estudios Superior de Ensenada e Ingeniero en Electrónica por el Tecnológico Nacional de México/ IT de Los Mochis, estudiante del programa de Doctorado en Ciencias en Estudios para la Sostenibilidad y Medio Ambiente por la Universidad Autónoma Indígena de México. Coordinador del programa Formación de Jóvenes Investigadores en la Organización Europea para la Investigación Nuclear (CERN) en Ginebra, Suiza. Correo electrónico: lennin.ac@mochis.tecnm.mx

Román Edén Parra Galaviz

Doctor en Ciencias en Desarrollo Sustentable de Recursos Naturales por la Universidad Autónoma Indígena de México e Ingeniero en Geodesia por la Universidad Autónoma de Sinaloa. Líneas de investigación: Sistemas de Información Geográfica (SIG), Fotogrametría y teledetección aplicado a recursos naturales. Correo electrónico: romaneden1806@gmail.com

Claudia Selene Castro Estrada

Doctora en Ciencias en Desarrollo Sustentable de Recursos Naturales por la Universidad Autónoma Indígena de México, Maestra en Ciencias en Ingeniería Industrial por el Instituto Tecnológico de Hermosillo e Ingeniera Industrial por el Instituto Tecnológico de Los Mochis. Ha sido integrante del Sistema Sinaloense de Investigadores y Tecnólogos del Instituto de Apoyo a la Investigación e Innovación (SSIT-INAPI). Correo electrónico: draclaudiacaastro@uaim.edu.mx