

## CÁLCULO DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI) DE LA RED ELÉCTRICA EN EL TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO/IT DE LOS MOCHIS CAMPUS VILLA DE AHOME (ITLMCVA)

### CALCULATION OF GREENHOUSE GASES EMISSIONS (GHG) IN THE POWER GRID OF THE TECNOLOGICO NACIONAL DE MEXICO/IT DE LOS MOCHIS CAMPUS VILLA DE AHOME (ITLMCVA)

Lenin Enrique **Amador-Castro**<sup>1</sup>; Román Edén **Parra-Galaviz**<sup>2</sup> y  
Claudia Selene **Castro-Estrada**<sup>3</sup>

#### Resumen

El cambio climático representa uno de los mayores retos de la humanidad en el siglo XXI, por lo que es necesario implementar herramientas que contrarresten los efectos dañinos de los gases de efecto invernadero (GEI). En este sentido, el presente texto tiene como objetivo exponer un trabajo científico especializado en la estimación de las emisiones indirectas de CO<sub>2</sub> producidos por el consumo de energía en la red eléctrica del ITLMCVA, con la finalidad de apoyar en un esfuerzo integral, a la formación de una institución sostenible. Para ello, se hizo la revisión de documentos oficiales y artículos

de investigación para realizar el estudio a través de la huella de carbono, permitiendo obtener la variación estacional del comportamiento en el consumo de energía y las emisiones de CO<sub>2</sub> en una serie de tiempo basado en la regresión lineal. Esto permitió definir el comportamiento a lo largo de la línea de tendencia durante el análisis, estableciendo los periodos con un alto nivel de consumo eléctrico en la institución, pues se ha encontrado que más de la mitad de las emisiones de CO<sub>2</sub> en Sinaloa son producidas por la demanda de energía eléctrica.

---

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

<sup>2</sup> Doctor en Ciencias en Desarrollo Sustentable de Recursos Naturales de la Universidad Autónoma Indígena de México.

<sup>3</sup> Doctora en Ciencias en Desarrollo Sustentable de Recursos Naturales de la Universidad Autónoma Indígena de México.

**Palabras clave:** consumo de energía, emisiones indirectas, huella de carbono, red eléctrica.

### **Abstract**

Climate change represents one of the greatest challenges for humanity in the 21st century, which is why it is necessary to implement tools that counteract the harmful effects of greenhouse gases (GHG). In this sense, the present text aims to present a scientific work specialized in estimating indirect CO<sub>2</sub> emissions produced by energy consumption in the ITLMCVA electrical network, in order to support training in a comprehensive effort of a sustainable institution. For this, the official documents

and research articles were reviewed to carry out the study through the carbon footprint, allowing to obtain the seasonal variation in the energy's consumption behavior and CO<sub>2</sub> emissions in a time series based on linear regression. Knowledge of these parameters is of great importance, because it allowed to set its demeanor along the trend line during the analysis, establishing the periods with a high level of electricity consumption in this institution, since it has been found that more than half of CO<sub>2</sub> emissions in Sinaloa are produced by electricity demand.

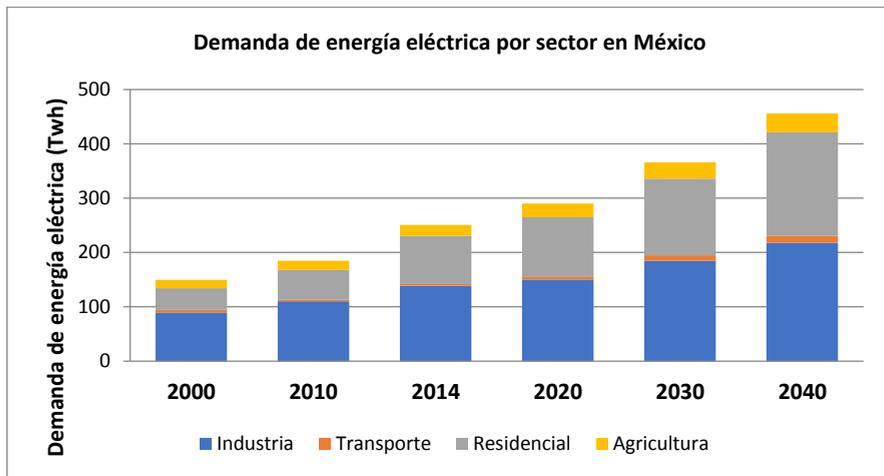
**Key words:** carbon footprint, consumption energy, indirect emissions, power grid.

## **INTRODUCCIÓN**

El sistema climático de nuestro planeta se ha caracterizado por variar constantemente, provocando grandes alteraciones en nuestro entorno que al día de hoy son muy perceptibles. En gran medida esto se debe al forzamiento radiativo del sistema climático originado por las actividades humanas (Piñeros, Parrado, & Aristizábal, 2017), que generan un impacto atmosférico. Es conocido que el calentamiento global es la mayor amenaza para el desarrollo ambiental y económico a nivel mundial (Dias & Arroja, 2012), el cual representa uno de los mayores retos que enfrenta la humanidad en la actualidad. Por tal motivo la comunidad científica ha decidido tomar acciones inmediatas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera, desarrollando herramientas que permitan monitorear y controlar dichas emisiones. En la actualidad se estima casi 400 (ppm) de CO<sub>2</sub>, lo que significa un aumento de aproximadamente el 50% en tan sólo 100 años, siendo una cifra alarmante, pues de mantenerse la tendencia actual, se prevé que esa cifra crecerá más de 2 ppm por año (Stern, 2008). Entre otras consecuencias, se estiman variaciones en la reducción de los casquetes polares, modificación en los patrones de precipitación así como en los depósitos de nieve mundiales, lo que propiciaría un elevamiento del nivel del mar y modificaciones en la intensidad y frecuencia de los fenómenos climáticos extremos (IPCC, 2007) afectando de forma considerable la actividad económica, la población y los ecosistemas, siendo un factor importante en la determinación de las características del desarrollo económico del siglo XXI.

De acuerdo con la Figura 1, se puede apreciar que el mayor crecimiento en el consumo de energía eléctrica se produce en el sector residencial, debido al aumento constante de la propiedad, el uso de electrodomésticos y a la demanda de refrigeración en los hogares, la cual crece rápidamente (IEA, 2016). Sin embargo, a pesar del aumento en el consumo de electricidad del sector transporte, este solo representa el 2% de la demanda total, debido a las medidas de apoyo del gobierno al introducir medios de transportes más eficientes y con menor cantidad de emisiones (SENER, 2017). Por lo tanto, todas las acciones que realizamos en nuestro entorno repercuten en la naturaleza, y la energía es el factor que contribuye principalmente con el cambio climático representado alrededor del 60% de todas las emisiones mundiales de los gases de efecto invernadero (IEA, 2020), en sentido inverso, la demanda de energía ha aumentado por los efectos meteorológicos, particularmente en el caso de EE. UU. en 2018 (IEA, 2020).

Estamos en una etapa donde la sociedad aumenta de forma acelerada la demanda de energía, incrementando por consiguiente las emisiones de carbono a un ritmo más rápido debido al crecimiento de la población, así como a la combinación de efectos relacionados con el clima y movimientos ciclónicos.

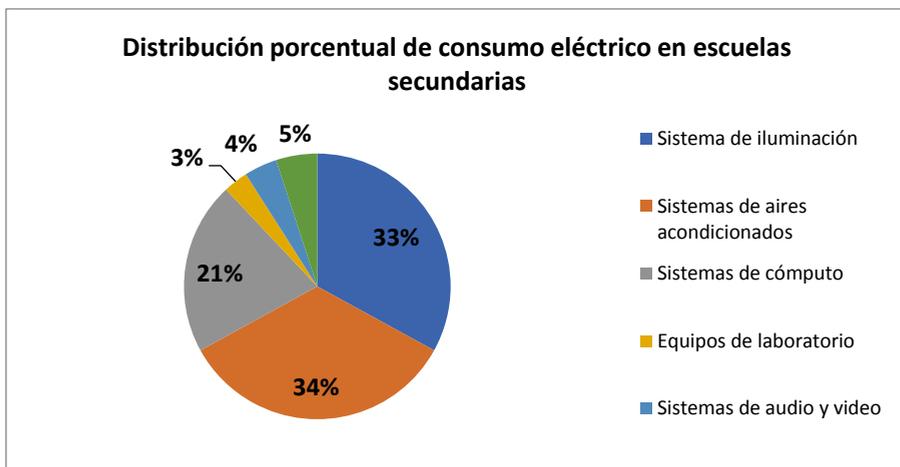


**Figura 1.** Demanda de energía eléctrica por sector en México.

**Fuente:** (IEA, 2016).

Los recientes cambios en materia económica y social resultado del distanciamiento social por SARS-CoV-2, han modificado la manera de evaluar los patrones de consumo de energía eléctrica tanto en el sector residencial como institucional, obligando a la fuente suministradora de servicios a cambiar la demanda de energía requerida en horas pico. De acuerdo con datos de la

Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2021), el 70% de las emisiones de carbono mundiales provienen de las ciudades, la movilidad a las zonas urbanas incrementan la población y el uso de los recursos en un 60%, lo que conlleva a un aumento en las emisiones de CO<sub>2</sub>. La demanda de electricidad en México crece a una tasa promedio anual de 2.4% entre 2014 y 2040, un ritmo más acelerado que el promedio de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). En consecuencia, el consumo de electricidad per cápita también crece alrededor del 50% durante dicho periodo, en el cual, el sector industrial sigue siendo el mayor consumidor de electricidad, estimando un 50% de la demanda total en 2040.



**Figura 2.** Distribución porcentual del consumo eléctrico en escuelas secundarias.

**Fuente:** (SENER, 2015).

En lo referente a la distribución del consumo de energía en escuelas secundarias en México, casi el 70% de la demanda recae en los sistemas de iluminación y aires acondicionados (Figura 2), esto determina la importancia de conocer la demanda de energía en las escuelas. En este sentido, el desarrollo de la presente investigación, nace de la necesidad de realizar un trabajo especializado para la estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> en el consumo de energía de la red eléctrica en instituciones educativas, ya que al momento se observa un desinterés en la gestión ambiental. De esta manera, se pretende estimar y evaluar las emisiones de CO<sub>2</sub> al interior del plantel educativo, además, la posibilidad de replicarse en otras instituciones educativas, representando una

forma de evaluar nuestra contribución al cambio climático, permitiendo ser conscientes del impacto que generan nuestras actividades diarias.

Debido a la necesidad en la implementación de metodologías que abonen al consumo sostenible de energía, se eligió al Instituto Tecnológico de Los Mochis Campus Villa de Ahome (ITLMCVA), ya que representa la primera institución de educación superior en comunidades rurales, la cual alberga a estudiantes egresados de las preparatorias ubicadas en las localidades de Higuera de Zaragoza, San José y Cohuibampo principalmente, fortaleciendo una cultura ambiental entre la institución y dichas localidades.

En Sinaloa las emisiones de gases de efecto invernadero ya son consideradas en el reporte de inventario y ascienden a poco más de 16 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> y la demanda de energía representa más del 50% de esas emisiones (IEEGEIS, 2012). En resumen, la mayoría de los municipios de Sinaloa se encuentran entre un intervalo mediano-alto a las afectaciones del cambio climático, por lo tanto, es pertinente transitar en una economía que sustente el cuidado ambiental que ayude a mitigar los efectos adversos del cambio climático, pues de no hacerlo las consecuencias serán irreversibles (Coppel, 2018).

Por tal motivo, es necesario establecer estrategias que permitan realizar un inventario de nuestras emisiones, para ello se propone realizar un análisis de los datos en el consumo de energía eléctrica proporcionados por la fuente suministradora de servicios, con la finalidad de crear una cultura de concientización en las instituciones privadas y educativas para el cuidado, ahorro y uso correcto de la energía eléctrica, permitiendo reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> que se producen a la atmósfera, pues las consecuencias originadas por la pandemia en América Latina y el Caribe (OLADE, 2020), hacen más relevante este trabajo como alternativa de ahorro de energía en busca de alcanzar una mayor estabilidad económica.

## **MÉTODOS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

La presente investigación se realizó en las instalaciones del ITLMCVA, ubicado en la Villa de Ahome, a 25 Km al norte de la ciudad de Los Mochis, Sin. Según datos del INEGI en el censo de 2010, la Villa de Ahome tiene una población de 11,331 habitantes, además tiene un clima húmedo cálido con una temperatura media anual de 25.2 °C siendo la más calurosa de julio a septiembre, con una precipitación pluvial promedio de 566 milímetros anuales. 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 de la demanda eléctrica de la institución educativa proporcionada por

la fuente suministradora de servicios, Comisión Federal de Electricidad (CFE). La investigación realizada es de tipo cuantitativa ya que se basa en la generación de datos estadísticos a partir de los datos obtenidos por la CFE, por lo que este indicador servirá como parámetro de eficiencia energética a otras instituciones y para la planeación de un sistema de gestión de energía en cualquier organismo público y privado (De Buen Rodriguez, 2014).

El estudio se centra en el cálculo de las emisiones indirectas de CO<sub>2</sub>, pues se encuentran en mayor cantidad que el total de las emisiones que componen los principales gases de efecto invernadero emitidos por las centrales eléctricas (CCA, 2018), de aquí la importancia de hacer notar que cuando se hace referencia al total de las emisiones de GEI, se deberá entender que solamente se incluirán las emisiones de CO<sub>2</sub>. Por lo tanto, las variables de interés serán el consumo de energía eléctrica por *kilowatt-hora* (kWh), las toneladas de dióxido de carbono (tCO<sub>2</sub>) y el factor de emisión (F<sub>E</sub>), este último, corresponde a los combustibles fósiles empleados para la generación de energía, que depende del año y de la fuente suministradora de energía. Para la obtención de los datos estadísticos se utilizó *Microsoft Excel* en el método de regresión lineal basada en una serie de tiempo a partir de los datos históricos de facturación, que de acuerdo con Levin y Rubin (2004) se lleva a cabo para hacer referencia a toda información estadística de los datos recolectados en la investigación a través del tiempo.

El modelo matemático empleado para la estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas por el consumo de energía eléctrica se basa 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 (KgCO<sub>2</sub>/MWh).

$F_C$  = Factor de conversión.

### **Factor de Emisión Eléctrico (F<sub>E</sub>)**

El factor de emisión eléctrico representa unos de los parámetros que determina el grado de contaminación causado por las emisiones indirectas provenientes del uso de la energía eléctrica, la cual es proporcionada por la fuente suministradora

de energía. Este parámetro de acuerdo a la Ley General de Cambio Climático (LGCC) entrada en vigor en 2012 en nuestro país, es cambiado año con año debido a la mezcla de combustibles empleados para la generación de electricidad por el Sistema Eléctrico Nacional (SEN), por lo que la Tabla 1 muestra los valores del factor de emisión tomados para nuestro estudio (SEMARNAT, 2016).

**Tabla 1. Factor de emisión eléctrico para el periodo 2014-2019**

<b>Factor de Emisión (F<sub>E</sub>)</b>	<b>Unidades</b>	<b>Año</b>
0.454 tCO <sub>2</sub> / MWh	Toneladas CO <sub>2</sub> / Megawatt-hora	2014
0.458 tCO <sub>2</sub> / MWh	Toneladas CO <sub>2</sub> / Megawatt-hora	2015
0.458 tCO <sub>2</sub> / MWh	Toneladas CO <sub>2</sub> / Megawatt-hora	2016
0.582 tCO <sub>2</sub> / MWh	Toneladas CO <sub>2</sub> / Megawatt-hora	2017
0.527 tCO <sub>2</sub> / MWh	Toneladas CO <sub>2</sub> / Megawatt-hora	2018
0.505 tCO <sub>2</sub> / MWh	Toneladas CO <sub>2</sub> / Megawatt-hora	2019

**Fuente:** Elaboración propia con datos del Registro Nacional de Emisiones (RENE).

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 (hidroeléctrica, termoeléctrica, geotérmica, biomasa) de menor costo de operación como las más utilizadas, el cual es determinado de la siguiente manera (CDM, 2018):

$$F_E = \frac{\sum FC_{i,y} \cdot NCV_{i,y} \cdot EF_{CO_2,i,y}}{EG_y} \quad (\text{ec. 2})$$

Donde:

**FC<sub>i,y</sub>** = Cantidad de combustible fósil tipo *i* consumido en el sistema eléctrico en un año *y* (masa o unidad de volumen).

**NCV<sub>i,y</sub>** = Valor calorífico neto (contenido energético) del combustible fósil tipo *i* en el año *y* (GJ/masa o unidad de volumen).

**EF<sub>CO<sub>2</sub>,i,y</sub>** = Factor de emisión de CO<sub>2</sub> del combustible fósil tipo *i* en un año *y* (tCO<sub>2</sub>/GJ).

**EF<sub>CO<sub>2</sub>,i,y</sub>** = Electricidad neta generada y entregada a la red por todas las fuentes de energía que sirven al sistema en un año.

Para conocer la cantidad emisiones de CO<sub>2</sub> por concepto de la demanda de energía eléctrica en el ITLMCVA a través de la huella de carbono, utilizada como una herramienta que ha ido cobrando fuerza para la reducción de las emisiones (CEPAL, 2009), se tomaron en cuenta los siguientes indicadores de la Norma NMX-SAA-14064-1-IMNC-2007 (AENOR, 2012):

- a) **Definición de Límites.** El desarrollo de este trabajo de investigación se enfocó en el estudio de las emisiones de carbono indirectas, es decir, las que son generadas por la demanda de energía. Así mismo, se llevó a cabo un análisis de regresión lineal de las variables de consumo de energía eléctrica (kWh) y potencia eléctrica (Watts) para establecer el grado de relación con las emisiones de GEI.
- b) **Selección del año base.** El 2014 es el primer año en que inicia actividades el ITLMCVA, por lo que se estableció como el año base histórico para la realizar el reporte de inventario de las emisiones de CO<sub>2</sub>.
- c) **Identificación de emisiones.** Se consideraron las emisiones derivadas del consumo eléctrico que se desarrollan dentro de los límites de la institución, pero que se adquieren externamente a través de la fuente suministradora de energía.
- d) **Estimación de las emisiones.** Para este cálculo el dato de la actividad representó el consumo de electricidad procedente de proveedores externos para cada año de análisis, asimismo, cada dato es multiplicado por el factor de emisión correspondiente.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Consumo de energía

Los resultados obtenidos en este trabajo de investigación nacen de los indicadores establecidos por la Norma NMX-SAA-14064-1-IMNC-2007, tomando el 2014 como el año base de referencia para el análisis de los años posteriores. Esto se hace con la finalidad de ver los cambios de la demanda de energía en la red eléctrica del inmueble, así como también conocer la variación de las emisiones de CO<sub>2</sub> originadas por el consumo de energía. Esto lo podemos observar en la Tabla 2, la cual muestra el historial de consumo de energía eléctrica en el ITLMCVA de 2014-2019, correspondientes al ciclo de facturación realizado por la CFE en cada periodo. De acuerdo a dichos datos históricos, en 2014 se obtuvo

una demanda de 62,664 kWh dentro de las instalaciones del plantel, el cual representa el 14% del total de la energía para el tiempo de análisis. En 2017, la demanda fue de 88,507 kWh representando el 20% del total de la energía con respecto a los otros años evaluados, lo que significa un incremento del 41.2% con respecto al año 2014. Así mismo, en 2018 la energía consumida fue de 81,785 kWh muy similar a los datos del año anterior con un incremento del 31% en relación al año base, además representa un ahorro del 10% de energía con respecto a 2017.

**Tabla 2. Consumo de energía eléctrica en el ITLMCVA 2014-2019**

Meses	Consumo total de energía (kWh) por año						Total por mes (kWh)	Promedio mensual (kWh)
	2019	2018	2017	2016	2015	2014		
<b>ENERO</b>	2,947	2,398	2,347	2,015	1,909	1,857	<b>13,473</b>	2,246
<b>FEBRERO</b>	3,964	4,097	3,624	4,033	2,849	2,807	<b>21,374</b>	3,562
<b>MARZO</b>	4,197	3,508	5,945	4,168	3,877	2,990	<b>24,685</b>	4,114
<b>ABRIL</b>	4,501	6,273	4,825	5,570	5,031	2,726	<b>28,926</b>	4,821
<b>MAYO</b>	8,978	9,158	8,349	8,092	6,528	6,406	<b>47,511</b>	7,919
<b>JUNIO</b>	4,638	6,691	6,099	4,790	5,582	3,911	<b>31,711</b>	5,285
<b>JULIO</b>	3,331	4,762	6,363	4,621	4,795	3,360	<b>27,232</b>	4,539
<b>AGOSTO</b>	9,034	6,549	10,361	10,113	10,133	7,190	<b>53,380</b>	8,897
<b>SEPTIEMBRE</b>	13,224	13,545	13,799	12,814	14,037	10,761	<b>78,180</b>	13,030
<b>OCTUBRE</b>	11,866	13,079	14,906	13,600	13,419	11,291	<b>78,161</b>	13,027
<b>NOVIEMBRE</b>	7,022	7,886	8,589	8,532	6,697	6,496	<b>45,222</b>	7,537
<b>DICIEMBRE</b>	3,231	3,839	3,300	2,406	2,828	2,869	<b>18,473</b>	3,079
<b>TOTAL</b>	<b>79,933</b>	<b>81,785</b>	<b>88,507</b>	<b>80,754</b>	<b>77,685</b>	<b>62,664</b>	<b>468,328</b>	<b>78,055</b>

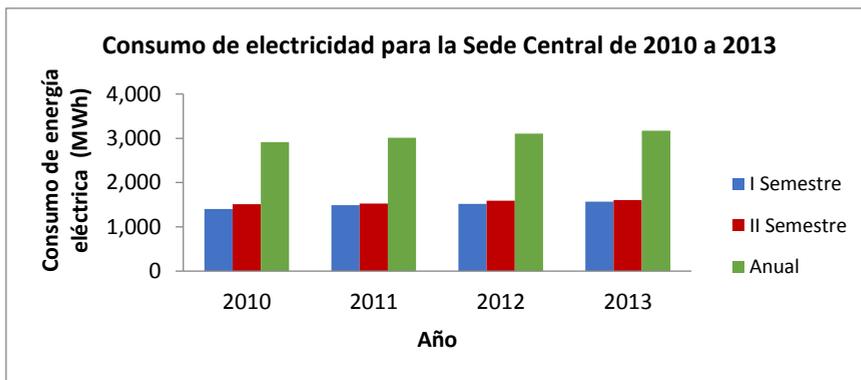
**Fuente:** Elaboración propia con datos de la CFE.

Es notable que el incremento en el consumo de energía durante los meses de septiembre y octubre alcanzaron un intervalo de 12,000 a 14,000 kWh, generando una mayor demanda en la red eléctrica de la institución, mientras que los meses de enero y diciembre representaron los consumos de energía más bajos, en un intervalo de 2,000 a 4,000 kWh, lo que generó una menor demanda de energía en la red eléctrica del ITLMCVA. En cambio, durante los meses de demanda de energía intermedia (mayo y agosto) se obtuvo un intervalo de 8,000 a 10,000 kWh, esto demuestra que en mayo, agosto, septiembre y octubre se presentaron

los periodos más significativos en el consumo de energía del plantel, lo que repercute en las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

En estudios realizados en el cálculo de GEI se tienen trabajos en instituciones de educación superior, donde se analizan las principales actividades generadoras de emisiones (Piñeros, Parrado, & Aristizábal, 2017), sin embargo, no se contempla un estudio detallado en relación al consumo de energía en la red eléctrica de la institución. En el caso de (Arevalo Toscano & Flórez Solano, 2016), realizan un análisis en el consumo de energía de los laboratorios del plantel educativo, en donde mencionan que debido a la falta de estudio en instituciones educativas sobre el uso eficiente de la energía, es necesario crear conciencia en las personas implicadas en dicho proceso contribuyendo con el medio ambiente y el planeta, pero no se contempla un análisis de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Por otro lado, en el trabajo de Venegas, Rodríguez y Salazar (2015), se desarrolla un estudio en el reporte de inventarios tanto de emisiones directas como indirectas en la Universidad de Bogotá, considerando los factores de emisión de cada una de las actividades del plantel y contemplando un análisis en el consumo de energía eléctrica durante un intervalo de tiempo determinado (Figura 3), distinguiéndose ciertos patrones en el consumo de electricidad como el caso del segundo semestre que es mayor al primero.



**Figura 3.** Consumo de electricidad para la Sede Central de 2010 a 2013.

**Fuente:** (Venegas, Rodríguez, & Salazar, 2015).

Para tener un estudio del consumo de energía eléctrica de acuerdo al calendario escolar, se realizó un análisis semestral tal como se muestra en el Tabla 3. Para ello, se dividió el consumo de energía en dos periodos: el semestre de enero-junio y el semestre de julio-diciembre. Se puede apreciar que durante el

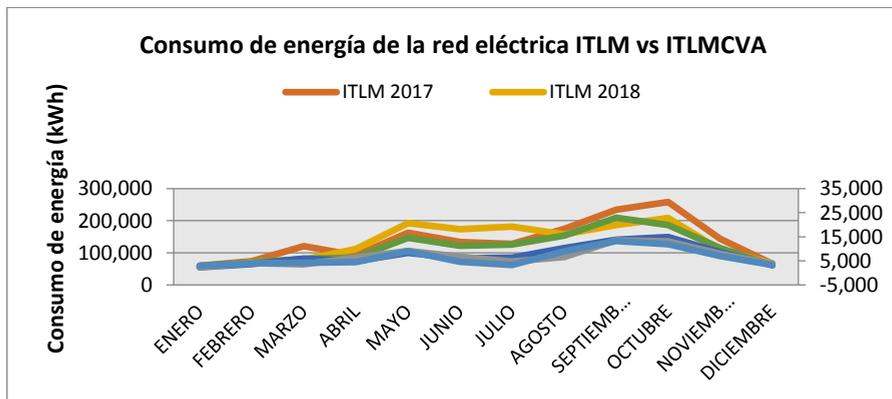
periodo de julio-diciembre se tiene la mayor tasa de consumo de energía eléctrica en la institución con un total de 300,648 kWh, lo que representa el 64% del total de la energía consumida, con un mínimo de 50,000 kWh por año durante el periodo 2014-2019. En cambio, en el periodo de enero-junio se tiene la menor tasa de consumo de energía eléctrica con un total de 167,680 kWh, representando el 36% del total de la energía consumida, ambos casos muy similares a lo propuesto por Venegas, Rodríguez, y Salazar, (2015).

**Tabla 3. Consumo de energía eléctrica por semestre 2014-2019**

Semestre	Consumo energía eléctrica por semestre (kWh)						Total por semestre (kWh)
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	
ENE-JUN	20,697	25,776	28,668	31,189	32,125	29,225	167,680
JUL-DIC	41,967	51,909	52,086	57,318	49,660	47,708	300,648
<b>Total</b>	<b>62,664</b>	<b>77,685</b>	<b>80,754</b>	<b>88,507</b>	<b>81,785</b>	<b>76,933</b>	<b>468,328</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

Por lo tanto, la relación del consumo de energía en ambos periodos (ene-jun, jul-dic) indica un incremento gradual hasta el año 2017, sin embargo, a partir de este, ambos periodos empiezan a disminuir el consumo de energía hasta el año 2019. Lo anterior se debe en gran parte a las medidas tomadas por la institución en relación al ahorro de energía para el cuidado del medio ambiente, como lo es el cambio de luminarias y aires acondicionados con mayor eficiencia, entre otros.



**Figura 4.** Emisiones de CO<sub>2</sub> en el consumo de energía de la red eléctrica ITLM vs ITLMCVA.

**Fuente:** Elaboración propia.

Si analizamos la relación del consumo de energía del ITLMCVA con la unidad Los Mochis (ITLM), como se muestra en la Figura 4, se puede observar que ambas instituciones tienen un comportamiento similar, pues los índices más altos en la demanda de energía eléctrica se encuentran durante los meses de mayo y septiembre, alcanzando un máximo en octubre con 250,000 kWh para la unidad Los Mochis y 15,000 kWh para el Campus Villa de Ahome (las tres curvas que se encuentran en la parte superior están en función de los datos del lado izquierdo y representan al ITLM, mientras que las tres curvas de la parte inferior dependen de los datos del lado derecho y representan al ITLMCVA).

En México existen alrededor de 2,300 planteles de nivel licenciatura (De Buen Rodríguez, 2016), por lo que si contabilizamos el consumo total de energía de todos los inmuebles sería de aproximadamente 1,150 GWh por año, equivalente a una demanda promedio de energía de 500 MWh por institución, esto se traduce a medio millón de toneladas de CO<sub>2</sub> anuales de todos los planteles en conjunto. Comparando los consumos de energía eléctrica con otras instituciones del país, la Tabla 4 muestra las diferencias existentes entre cada uno, en el cual podemos apreciar que la UABC destaca con un consumo promedio anual de 6,108 MWh. En cambio el ITLM con 331 MWh representa la institución con el consumo más bajo, sin embargo, si tomamos en cuenta todas las unidades que pertenecen al sistema del Tecnológico Nacional de México este dato se estimaría en 84,074 MWh por año, lo que representa sin lugar a dudas una cifra significativa.

**Tabla 4. Consumo de energía eléctrica en centros educativos**

<b>Nombre de la institución</b>	<b>Localización</b>	<b>Consumo Anual promedio (MWh)</b>
Universidad Autónoma de Baja California (AUBC)	Mexicali	6,108
Centro de Estudios Científicos y Tecnológicos (CECyT)	Ciudad de México	972
Universidad de Monterrey (UM)	Monterrey	2,904
Universidad Autónoma de Tamaulipas (AUT)	Tampico	3,576
Universidad Veracruzana (UV)	Xalapa	564
Instituto Tecnológico de los Mochis (ITLM)	Los Mochis	331

**Fuente:** (De Buen Rodríguez, 2016).

## Emisiones indirectas

Las emisiones indirectas son aquellas que están asociadas únicamente a la generación de electricidad adquirida y consumida por la organización, en nuestro caso por el ITLMCVA, que de acuerdo con los datos históricos del consumo de energía eléctrica de la Tabla 2, el factor de emisión para cada periodo de análisis de la Tabla 1 y el uso de las ecuaciones (1) y (2), permitieron determinar las emisiones de CO<sub>2</sub> del consumo de energía en la red eléctrica de la institución. Estos resultados son mostrados en la Tabla 5 para cada uno de los meses del año del periodo 2014-2019.

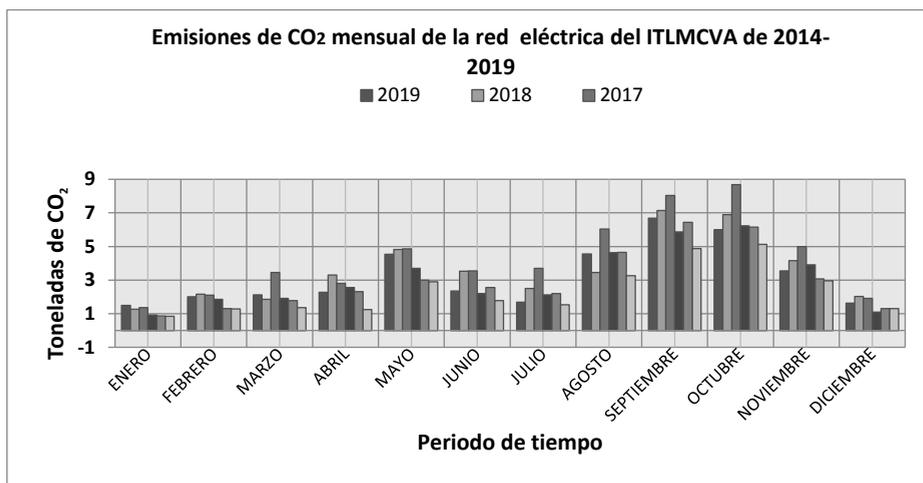
**Tabla 5. Emisiones de CO<sub>2</sub> en el consumo de energía eléctrica del ITLMCVA de 2014-2019**

Meses	Emisiones de CO <sub>2</sub> de la red eléctrica (Toneladas)						Total Emisiones mensual	Promedio mensual
	2019	2018	2017	2016	2015	2014	Toneladas (CO <sub>2</sub> )	Toneladas (CO <sub>2</sub> )
<b>ENERO</b>	1.49	1.26	1.37	0.92	0.87	0.84	<b>7</b>	1.13
<b>FEBRERO</b>	2.00	2.16	2.11	1.85	1.30	1.27	<b>11</b>	1.78
<b>MARZO</b>	2.12	1.85	3.46	1.91	1.78	1.36	<b>12</b>	2.08
<b>ABRIL</b>	2.27	3.31	2.81	2.55	2.30	1.24	<b>14</b>	2.41
<b>MAYO</b>	4.53	4.83	4.86	3.71	2.99	2.91	<b>24</b>	3.97
<b>JUNIO</b>	2.34	3.53	3.55	2.19	2.56	1.78	<b>16</b>	2.66
<b>JULIO</b>	1.68	2.51	3.70	2.12	2.20	1.53	<b>14</b>	2.29
<b>AGOSTO</b>	4.56	3.45	6.03	4.63	4.64	3.26	<b>27</b>	4.43
<b>SEPTIEMBRE</b>	6.68	7.14	8.03	5.87	6.43	4.89	<b>39</b>	6.51
<b>OCTUBRE</b>	5.99	6.89	8.68	6.23	6.15	5.13	<b>39</b>	6.51
<b>NOVIEMBRE</b>	3.55	4.16	5.00	3.91	3.07	2.95	<b>23</b>	3.77
<b>DICIEMBRE</b>	1.63	2.02	1.92	1.10	1.30	1.30	<b>9</b>	1.55
<b>TOTAL</b>	<b>39</b>	<b>43</b>	<b>52</b>	<b>37</b>	<b>36</b>	<b>28</b>	<b>234</b>	<b>39.08</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

Analizando la Tabla 5 se observa que durante los meses de septiembre y octubre se tiene un acumulado de 39 tCO<sub>2</sub>, representando los niveles más elevados de contaminación con un promedio mensual de 6.5 tCO<sub>2</sub> para cada año de análisis. En cambio, enero fue el mes donde se registraron menores emisiones de dióxido de carbono, con un total de 7 toneladas, el cual representa el 3% del

total con respecto a los otros meses. Con el propósito de obtener una representación del comportamiento periódico de las emisiones de CO<sub>2</sub> en los meses de enero a diciembre durante todo el periodo de análisis, la Figura 5 es presentada a continuación:



**Figura 5.** Emisiones de CO<sub>2</sub> mensual de la red eléctrica del ITLMCVA de 2014-2019.

**Fuente:** Elaboración propia.

Por otro lado, si dividimos el análisis en los periodos semestrales mostrados en la Tabla 6, podemos comparar el año base en relación con los años posteriores obteniéndose lo siguiente: en 2015 las emisiones aumentaron 25% pasando de 28.45 tCO<sub>2</sub> a 35.58 tCO<sub>2</sub>, mientras que en 2016 hay un incremento del 30% y para 2017 se obtuvo un total de 51.51 tCO<sub>2</sub> representando un incremento del 81% en relación a 2014.

**Tabla 6.** Emisiones de CO<sub>2</sub> de la red eléctrica por semestre 2014-2019

Semestre	Emisiones de CO <sub>2</sub> de la red eléctrica (Toneladas)						Toneladas por semestre (CO <sub>2</sub> )
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	
<b>ENE-JUN</b>	9.40	11.81	13.13	18.15	16.93	14.76	84.17
<b>JUL-DIC</b>	19.05	23.77	23.86	33.36	26.17	24.09	150.31
<b>Total</b>	<b>28.45</b>	<b>35.58</b>	<b>36.99</b>	<b>51.51</b>	<b>43.10</b>	<b>38.85</b>	<b>234.48</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

Así, el total de las emisiones de CO<sub>2</sub> por año durante el periodo semestral de enero-junio no sobrepasaron las 20 tCO<sub>2</sub>, sin embargo, para el semestre de julio-diciembre las emisiones oscilan entre 19 y 33 toneladas de dióxido de carbono anuales, lo que demuestra la mayor demanda de actividades del plantel durante el segundo periodo.

Adicionalmente, con la finalidad de aproximar las emisiones de CO<sub>2</sub> a una situación ideal se utilizó una distribución normal la cual está determinada a través de la siguiente ecuación (Gamero, 2017):

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (\text{ec. 3})$$

Donde:

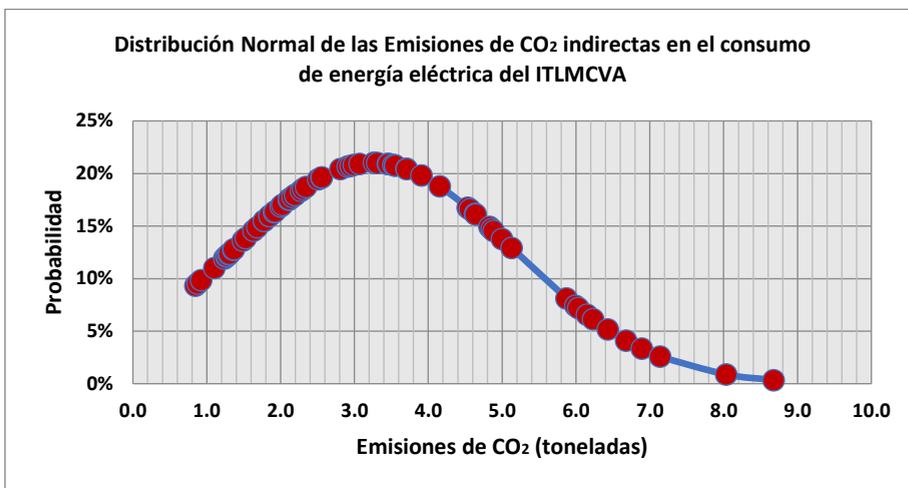
$f(x)$  = Función de distribución Normal.

$x$  = Datos de las emisiones de CO<sub>2</sub> en el consumo de energía eléctrica (tCO<sub>2</sub>)

$\mu$  = Media de todos los datos de estudio.

$\sigma$  = Desviación estándar.

Por lo tanto, la respuesta que representa la distribución normal de las emisiones indirectas de CO<sub>2</sub> es mostrada en la Figura 6, se puede observar que existe 21% de probabilidad que las emisiones mensuales sean aproximadamente 3.26 tCO<sub>2</sub>, este dato representa la media de las emisiones durante el periodo 2014-2019, resultando que, si las emisiones de CO<sub>2</sub> se encuentran por debajo y por encima de la media, la curva de la distribución de probabilidad disminuirá.



**Figura 6.** Distribución Normal de las emisiones de CO<sub>2</sub> indirectas en el consumo de energía eléctrica del ITLMCVA en el periodo 2014-2019.

**Fuente:** Elaboración propia.

### Análisis estacional en una serie de tiempo

El análisis de la serie de tiempo es utilizado para la visualización de patrones de cambio en intervalos regulares de una información estadística, permitiendo la proyección de los datos históricos. Este método cuantitativo determinará el comportamiento de los patrones de los datos recolectados en la investigación a través del tiempo (Levin & Rubin, 2004).

De acuerdo a la recopilación de datos en el consumo de energía y a los obtenidos en las emisiones de CO<sub>2</sub> de la Tabla 5, se ha decidido utilizar el método de análisis de variación estacional en la serie de tiempo, el cual muestra un movimiento repetitivo alrededor de la línea de tendencia, que para obtenerla se ajusta con el método de mínimos cuadrados de acuerdo a las siguientes ecuaciones (Levin & Rubin, 2004):

$$a = \bar{Y} - b\bar{X} \text{ (ec. 4)}$$

$$b = \frac{\sum XY - n\bar{X}\bar{Y}}{\sum X^2 - n\bar{X}^2} \text{ (ec. 5)}$$

Donde:

$\bar{X}$  = Media de los valores de la variable independiente.  
datos de la serie de tiempo.

$n$  = Número de

$\bar{Y}$  = Media de los valores de la variable dependiente.

$a$  = Ordenada Y.

$X$  = Valores de la variable independiente.  
la recta.

$b$  = Pendiente de

$Y$  = Valores de la variable dependiente.

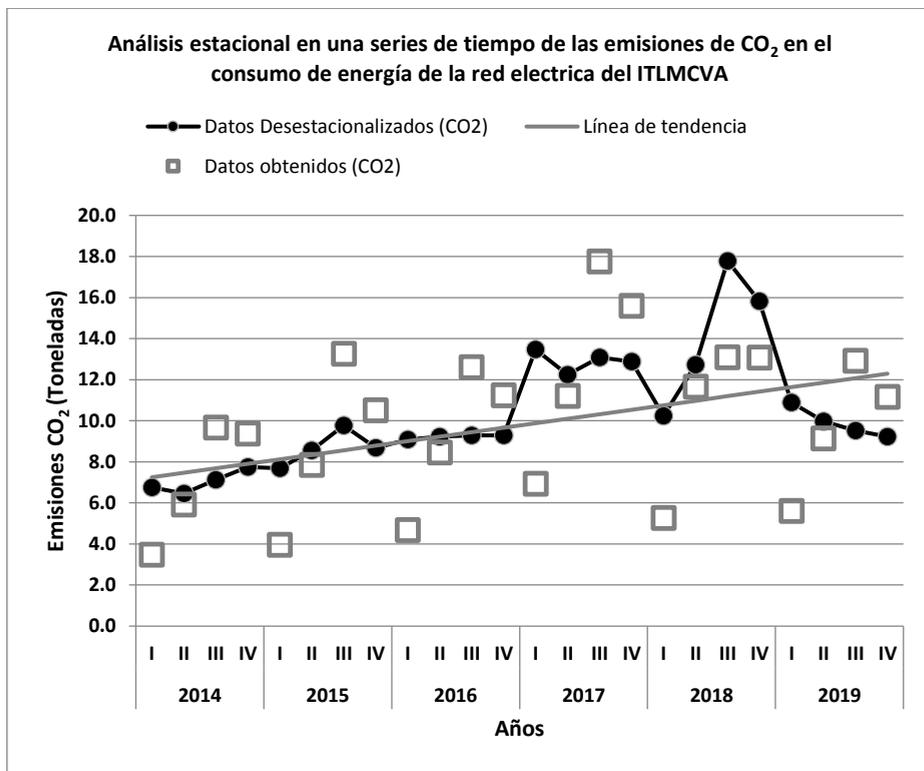
El comparar dos intervalos de tiempo para la toma de decisiones con base en la proyección de datos históricos, permite modelar y pronosticar la tendencia en un periodo de tiempo aplicado; para ello, cada año se dividió en cuatro periodos para obtener el promedio de las emisiones de CO<sub>2</sub> por trimestre así como el promedio móvil (Levin & Rubin, 2004), tal como se muestra en la Tabla 7, lo que ayudó a modelar la serie de tiempo y estimar la variación alrededor de la línea de tendencia.

**Tabla 7. Cálculo de los valores de la serie de tiempo**

Año	Trimestre	Toneladas de CO <sub>2</sub>			
		Promedio trimestral	Datos Desestacionalizados	Línea de tendencia	Promedio móvil
2014	I	3.475	6.748	7.248	
	II	5.922	6.460	7.467	
	III	9.675	7.126	7.686	7.172
	IV	9.378	7.746	7.905	7.473
2015	I	3.955	7.680	8.125	8.163
	II	7.851	8.564	8.344	8.754
	III	13.266	9.771	8.563	8.985
	IV	10.508	8.680	8.783	9.151
2016	I	4.679	9.086	9.002	9.145
	II	8.451	9.219	9.221	9.155
	III	12.617	9.293	9.440	9.528
	IV	11.238	9.283	9.660	10.156
2017	I	6.935	13.467	9.879	11.145
	II	11.217	12.237	10.098	12.333
	III	17.764	13.084	10.318	12.670
	IV	15.595	12.881	10.537	12.517
2018	I	5.272	10.237	10.756	11.989
	II	11.658	12.718	10.976	11.091
	III	13.099	17.785	11.195	10.817
	IV	13.072	15.825	11.414	10.545
2019	I	5.610	10.894	11.633	10.208
	II	9.140	9.971	11.853	9.948
	III	12.920	9.516	12.072	
	IV	11.170	9.226	12.291	

**Fuente:** Elaboración propia.

Con el fin de medir la estacionalidad, es decir, la periodicidad de los datos a lo largo de la serie de tiempo, es necesario la eliminación del componente estacional (datos desestacionalizados) a través del método cuantitativo propuesto, el cual permite modelar la variación cíclica a lo largo de la línea de tendencia. La Figura 7 muestra la relación de los datos obtenidos de las emisiones de CO<sub>2</sub> en el consumo de energía eléctrica, la variación cíclica y la proyección de los datos históricos, por lo que en el caso de los valores desestacionalizados muestran un comportamiento repetitivo que se acentúa durante el tercer y cuarto trimestre del periodo 2014-2019.



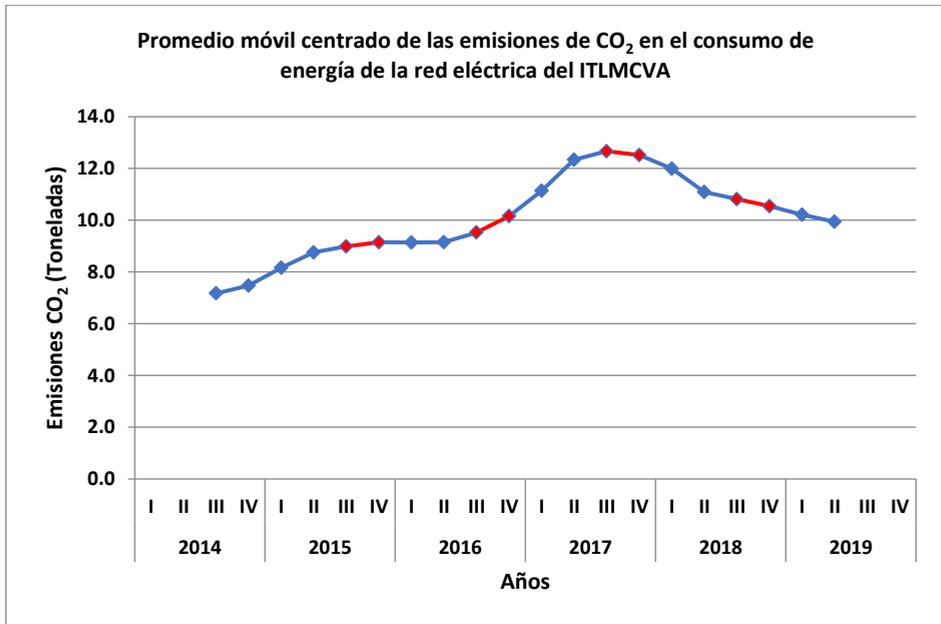
**Figura 7.** Emisiones de CO<sub>2</sub> por semestre de la red eléctrica en el ITLMCVA 2014-2019.

**Fuente:** Elaboración propia.

Por otro lado, si analizamos los datos de la Tabla 7 correspondientes a la columna del promedio móvil, estos representan la estimación de la variación

estacional del promedio trimestral de las emisiones de CO<sub>2</sub> en la demanda de energía de la red eléctrica del ITLMCVA. Es notable que las curvas de la función oscilen entre 7 a 13 toneladas de CO<sub>2</sub> durante todo el periodo de análisis de la Figura 8, así como también, se puede apreciar que los mayores índices de emisiones se encuentran durante el tercer y cuarto trimestre, lo que representa los periodos con mayor actividad en el consumo de energía eléctrica.

Modelar un comportamiento estacional en una serie de tiempo permitirá establecer las bases para predecir las estimaciones a futuro, y de esta manera obtener un modelo representativo que ayude a establecer acciones de mitigación que contrarresten los efectos dañinos de los gases de efecto invernadero. Es por eso que el trabajo va dirigido a cualquier institución que desee replicarlo, desarrollando un programa de concientización de ahorro en el consumo de energía eléctrica para contribuir a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODM) en su agenda 2030 de acción por el clima (IEA, 2020).

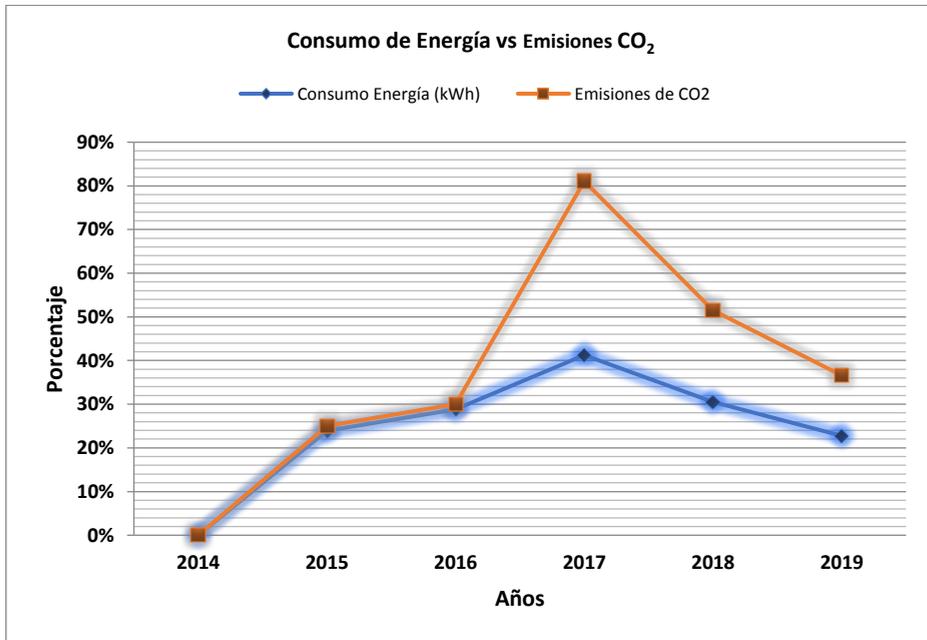


**Figura 8.** Promedio móvil centrado de las emisiones de CO<sub>2</sub> de la red eléctrica del ITLMCVA.

**Fuente:** Elaboración propia.

Finalmente, si comparamos el crecimiento de las variables de consumo de energía eléctrica y las emisiones de CO<sub>2</sub> en relación al año base, podemos observar que ambas tienen un incremento muy similar de 2014 a 2016. Esto se debe en gran medida a que en dicho periodo el factor de emisión fue prácticamente el mismo (Tabla 1). Sin embargo, en 2017 el incremento de las emisiones de CO<sub>2</sub> y el consumo de energía es de 80% y 40% respectivamente, por lo que se puede apreciar un mayor aumento en la pendiente de la recta de las emisiones de CO<sub>2</sub> con respecto al consumo de energía (Figura 9). Esto último, es ocasionado en gran parte por dos factores:

- a) El alto consumo de energía eléctrica (88,507 kWh, Tabla 2)
- b) El aumento en el factor de emisión (0.582 tCO<sub>2</sub> / MWh, Tabla 1).



**Figura 9.** Comparación en el crecimiento entre el consumo de energía eléctrica y las emisiones de CO<sub>2</sub>.

**Fuente:** Elaboración propia.

## CONCLUSIONES

Actualmente la gestión ambiental en instituciones públicas y privadas es casi nula, dejándolo en un tema de tercer nivel y restando gran importancia; los efectos originados por el cambio climático son una realidad y la necesidad de trabajo científico especializado no es un requisito sino una obligación en el corto y mediano plazo. Sin embargo, la situación que se vive desde la semana 14 de 2020 ante el distanciamiento social por la emergencia sanitaria SARS-CoV-2, ha provocado el incremento de los consumos de la energía eléctrica hasta un 32% en el uso doméstico, eso se acentúa más si tomamos en cuenta que el 84% de la facturación depende de la demanda de energía. Aunque en el caso de las instituciones educativas el consumo de energía ha disminuido, es importante mencionar que falta establecer políticas y estrategias de gestión en su ahorro, pues en la mayoría de los casos hay una nula participación en programas de desarrollo sostenible.

El conocer los altos niveles de consumo eléctrico históricos permitirá establecer acciones de mejora para disminuir la demanda eléctrica, como: la implementación de fuentes de energías alternas (por ejemplo, un sistema fotovoltaico), instalación de luminarias LED y uso de la domótica; lo cual permitirá una eficiencia de la red eléctrica, reducción de costos de facturación y emisiones de carbono para contribuir con en el medio ambiente. De lo anterior se puede establecer que las emisiones de CO<sub>2</sub> son directamente proporcionales al consumo de energía, y representarlo en una serie de tiempo ayudará establecer una política de gestión ambiental adecuada.

## 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: Ihobe.
- Arevalo Toscano, J., & Flórez Solano, E. (2016). Diagnóstico del consumo de energía eléctrica en las instalaciones de los laboratorios de la universidad Francisco de Paula Santander Ocaña sede la primavera. *Innovación en las facultades de ingeniería: el cambio para la competitividad y la sostenibilidad*.
- 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*.
- Coppel, Q. O. (2018). *Plan Sectorial de Desarrollo Urbano, Medio Ambiente, Movilidad y Vivienda 2017-2021*. Culiacán: Gobierno del Estado de Sinaloa.
- De Buen Rodríguez, O. (2014). *Manual para la Implementación de un Sistema de Gestión de la Energía*. México, D.F.
- De Buen Rodríguez, O. (2016). La importancia del consumo de energía en inmuebles no residenciales en México y su evidente subestimación en las estadísticas internacionales. *Energía, Tecnología y Educación SC*.
- Dias, A., & Arroja, L. (2012). *Comparison of methodologies for estimating the carbon footprint e case study of office paper*, *Journal of Cleaner Production, Centre for Environmental and Marine Studies (CESAM) and Department of Environment and Planning, University of Aveiro*. Obtenido de <http://www.elsevier.com/locate/jclepro>.
- DOF. (2007). *Norma NMX-SAA-14064-1-IMNC-2007*. México: Diario Oficial de la Federación (DOF).
- Gamero, C. (2017). *Elementos de Estadística Descriptiva y de Teoría de la Probabilidad* (1er ed.). España: Universidad de Málaga (UMA).
- IEA. (2016). Mexico Energy Outlook. *World Energy Outlook Special Report*.
- IEA. (2020). The impacts of the Covid-19 crisis on global energy demand and CO<sub>2</sub> emission. *Global Energy Review*, International Energy Agency (IEA).
- IEEGEIS. (2012). *Inventario Estatal de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de Sinaloa*. Mazatlán, Sinaloa.
- IPCC. (2007). Cambio climático 2007: Informe de síntesis. *Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*, 104.
- Levin, R., & Rubin, D. (2004). *Estadística para Administración y Economía*. México: Pearson Educación.
- 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.
- SEMARNAT. (2016). *Registro Nacional de Emisiones (RENE)*. Obtenido de <http://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/registro-nacional-de-emisiones-rene>.
- SENER. (2015). *Estudios en materia de eficiencia energética*. México: Estudio de Eficiencia Energética en Escuelas.
- SENER. (2017). *Prospectiva del Sector Eléctrico 2017-2031*. México.
- Stern, N. (2008). The economics of climate change. *American Economic Review*, 98(2).
- Venegas, M., Rodríguez, A., & Salazar, T. (2015). Inventario de emisiones de Gases de Efecto Invernadero: un insumo en la gestión del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR). *18*(1), 61-79.

## AGRADECIMIENTOS

Al programa de Doctorado en Ciencias en Estudios para la Sostenibilidad y Medio Ambiente de la Universidad Autónoma Indígena de México, 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

70 | Lennin Enrique Amador-Castro; Román Edén Parra-Galaviz y Claudia Selene Castro-Estrada • Cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de la red eléctrica en el Tecnológico Nacional de México/IT de Los Mochis Campus Villa de Ahome (ITLMCVA)

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: draclaudiacastro@uaim.edu.mx