

Return on investment of photovoltaic systems and CO_2 reduction in commercial and residential areas

Retorno de inversión de sistemas fotovoltaicos y reducción de CO_2 en comercios y en residencias

Luis Climent Arredondo^{*1}, Jesús G. Vega-Taboada¹, María L. Gómez Santos¹, and José A. Martínez Bautista¹

¹Universidad Tecnológica de Nuevo Laredo (UTNL),

Cuerpo Académico de Energías Renovables Área Energía Solar,

Blvd. Universidad 3302, Fracc. Oradel, 88205 Nuevo Laredo, Tamaulipas, México.

{lcliment, jvega}@utnuevolaredo.edu.mx, marializbethgomez@hotmail.com, joseangel-mtz@live.com

Abstract

The objective of this study was to determine the reduction of carbon dioxide (CO_2) that can be obtained through the implementation of photovoltaic systems. As a study sample, surveys were conducted and applied in Nuevo Laredo. Residential and commercial areas were considered in order to determine the CO_2 reduction they would have if photovoltaic systems were implemented to cover the required energy demand. The estimated consumption in small businesses was 1.2-kilowatt hours (kW/h) and in medium-sized businesses it was 2.1 kW/h. In the residential area, it was determined that an average home consumes 291.7 kW/h bimonthly, and this results in an emission of 0.9313 tons of carbon dioxide equivalent (tCO_2e). With the data obtained, it was estimated that if photovoltaic systems were implemented throughout the city, a reduction of 111,765.6 tCO_2e could be achieved in a bimonthly period; without a doubt, this figure offers a clear idea of the benefit this would bring to the environment.

Keywords— Carbon dioxide, energy demand, photovoltaic system

* Autor de correspondencia

Resumen

En el presente estudio se tuvo como objetivo determinar la reducción de dióxido de carbono (CO_2) que se puede obtener mediante la implementación de sistemas fotovoltaicos. Como muestra de estudio se realizaron encuestas que fueron aplicadas en Nuevo Laredo, se consideraron las áreas residenciales y comerciales para así determinar cuál sería la reducción de CO_2 que tendrían si se implementan sistemas fotovoltaicos para cubrir la demanda energética requerida. El consumo estimado en pequeños comercios fue de 1.2 kilowatt hora (kW/h) y de los comercios medianos fue de 2.1 kW/h. En el área residencial se determinó que una vivienda promedio consume 291.7 kW/h bimestralmente y esto da lugar a una emisión de 0.9313 toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO_2e). Con los datos obtenidos se estimó que si en toda la ciudad se implementaran sistemas fotovoltaicos se podría tener una reducción de 111,765.6 tCO_2e en un bimestre, sin duda esta cifra ofrece una idea clara del beneficio que esto aportaría al medio ambiente.

Palabras clave— Demanda energética, dióxido de carbono, sistemas fotovoltaicos

I. Introducción

A partir de la llegada de la revolución industrial, la combustión de productos orgánicos derivados del petróleo se ha incrementado y a esto se puede agregar la gran proporción del nivel de concentración de

dióxido de carbono (CO_2) en la atmósfera del planeta [1]. Durante los últimos 800 años, las acumulaciones de CO_2 en la atmósfera, nunca habían llegado a las 300 partes por millón (ppm). Sin embargo, esa cifra se superó por primera vez en 1950 y no ha terminado de incrementarse desde ese entonces [2].

Todos los días se liberan grandes cantidades de CO_2 al hacer uso de combustibles fósiles, mediante el consumo de la gasolina, carbón, gas natural y petróleo, lo que incrementa el efecto invernadero. El equilibrio natural que ha existido durante miles de años se ha roto y el uso irracional de los combustibles fósiles es lo que aumenta la temperatura a cada segundo.

Los tres tipos de combustibles fósiles más utilizados son: el carbón, el petróleo y el gas natural. Al producirse la combustión, el carbón contenido es devuelto casi en su totalidad como CO_2 . Se valora que 2/3 partes de las emisiones de CO_2 , tienen su origen en la quema de combustibles y la parte restante de 1/3 producto de la utilización del suelo, es decir la deforestación. De manera que, del total de lo expedido, el 45 % reside en la atmósfera, el 30 % es absorbido por los océanos, mientras que el restante pasa a la biosfera terrestre con un 25 % del total.

En los datos de la actualización de 2020 de la Contribución Determinada a nivel Nacional (NDC, debido a sus siglas en inglés) en virtud de la Convención Marco de las Naciones Unidas, se estimó que, solo México, emitió 804 millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente ($MtCO_2e$) de gases de efecto invernadero (GEI) y a nivel global respecto a emisiones, esto representa alrededor del 1.3 % [3]. Con los datos expuestos se demostró, que un incremento en la concentración de los GEI puede alterar el flujo natural de energía, ya que, a mayor cantidad de gases presentes en la atmósfera, el resultado es una mayor cantidad de calor absorbido por el planeta y por consiguiente se eleva la temperatura, dando lugar al calentamiento global [4].

México como país, dentro del Acuerdo de París de 2015, respaldó diferentes objetivos, con el fin de reducir sus emisiones nacionales de GEI y limitar el calentamiento global a no más de $2^\circ C$. Todas las naciones que se afiliaron a este acuerdo se comprometieron a elaborar un documento con el nombre de: NDC. Con esto en marcha los esfuerzos de cada país serían más fuertes y apegados para adaptarse a los efectos del cambio climático y reducir la generación de emisiones a nivel nacional [5].

El compromiso de México en el NDC fue disminuir de manera no condicionada el 51 % de las emisiones de carbono negro al 2030 por debajo de la línea base tendencial y el 22 % de las emisiones de GEI, así como también a alcanzar el pico de emisiones en el año 2026 y que vaya en disminución [6].

El objetivo de realizar un dimensionamiento fotovol-

taico y el cálculo de las emisiones generadas de CO_2 de una vivienda promedio, es tener una herramienta como guía que oriente las acciones necesarias, con el fin de mejorar la calidad del aire en la entidad. La centralización de usuarios que muestra el sector residencial, lo transforma en uno de los sectores con mayor susceptibilidad a la implementación de nuevas reformas, políticas y proyectos que podrían originar cambios en varios de los determinantes de su demanda [7].

Tamaulipas, una de las treinta y dos entidades federativas de México, ha presentado demandas energéticas que se han ido incrementado de manera importante en las últimas décadas, y es primordialmente por el crecimiento económico, demográfico y los hábitos de consumo, siendo el estado número trece con más habitantes en todo México [8].

Así que, si se quiere incentivar el cuidado del recurso energético y por consecuencia el del medio ambiente, se debe promover el desarrollo en la industria de generación de electricidad para ser más eficiente y crear programas que incentiven la toma de conciencia y cultura de ahorro de la energía eléctrica en los hogares de la región [9].

El municipio de Nuevo Laredo en el estado de Tamaulipas genera contaminación de partículas menores a 10 micrómetros (PM_{10}) y partículas menores a 2.5 micrómetros ($PM_{2.5}$), originado principalmente de los caminos pavimentados y no pavimentados [10]. Además, destaca también por la generación de óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO) y dióxido de carbono, provenientes de vehículos automotores primordialmente.

Derivado del calentamiento global y el cambio climático también se han presentado fenómenos irregulares como la tormenta acontecida el 18 de mayo del año 2021, que ocasionó fuertes afectaciones como inundaciones, la destrucción parcial de veintidós edificaciones, afectando a 157 mil 228 viviendas, dañando once líneas de transmisión, 472 postes, cincuenta y tres transformadores de distribución energética, 201 líneas reventadas y una antena de comunicación.

En consecuencia, la demanda energética en la localidad de Nuevo Laredo es grande y desde los acontecimientos planteados, se presentan continuamente interrupciones eléctricas en diversos sectores de la ciudad. Para incentivar la competitividad energética en el campo empresarial se realizó el primer foro en el 2017, con el nombre "Beneficios regionales sobre la reforma energética", organizado por el Gobierno local mediante la Secretaría de Desarrollo Económico en coordinación con iniciativa privada y organismos civiles [11].

En los últimos años, la economía ha provocado que el uso de la energía eléctrica sea cada vez más costoso. Por varios años, se ha mantenido la ideología que usar módulos fotovoltaicos incluye una fuerte inversión en relación con su eficiencia, pero esta tecnología ha

evolucionado constante y significativamente para bien, logrando disminuir su costo de fabricación y aumentado su eficiencia [12]. La energía solar fotovoltaica ya forma parte de un nuevo cambio que además de ser necesario y amigable con el medio ambiente; también es la energía que contribuye al desarrollo sostenible.

II. Sistema fotovoltaico

Las instalaciones fotovoltaicas permiten sacar provecho a la energía generada por la radiación solar, gracias a que los módulos fotovoltaicos son los encargados de captar la radiación y convertirla en energía eléctrica continua, después el inversor se encarga de transformarla en alterna para su consumo. Los sistemas fotovoltaicos se dividen en dos tipos: aislados de la red eléctrica e interconectados a la red eléctrica [13].

Una instalación fotovoltaica aislada de la red eléctrica, la cual no se encuentra con conexión a la red eléctrica, la energía generada se consume en el mismo sitio en donde se genera, lo que evita la dependencia a la red. Es la opción ideal para las viviendas o negocios aislados de la urbanización, por ejemplo, las granjas, ya que resulta más económico y sostenible.

La instalación fotovoltaica, interconectada a la red se distingue por estar interconectada de manera permanente a la red eléctrica, la cual prioriza el autoconsumo usando la energía de la instalación solar. Lo que diferencia una instalación de otra, dentro de este tipo de interconexión, es la gestión de los excedentes, en otras palabras, la energía generada que no es consumida por el usuario será inyectada en la red eléctrica.

En el área de las instalaciones fotovoltaicas interconectadas a la red, se reparte en tres grupos de aplicaciones, de acuerdo con los rangos de potencia [14]:

1. Instalaciones fotovoltaicas para el sector residencial, que manejan un rango de potencia entre 1 y 15 kilowatts potencia (kWp).
2. Instalaciones fotovoltaicas comerciales, industriales y/o en oficinas, con un rango de potencia entre 5 y 250 kWp.
3. Instalaciones fotovoltaicas en plantas centralizadas, con un rango de potencia entre 100 kWp y 10 MWp.

Para cada instalación es indispensable el uso de módulos fotovoltaicos, pero existen diferentes tipos, de acuerdo con los materiales empleados, los procesos de fabricación y la estructura final [15], entre los principales a destacar se encuentran los siguientes:

1. Módulo de silicio puro monocristalino. - Fundamentados en secciones de una barra de silicio perfectamente cristalizado conformado en una sola pieza. Se han alcanzado en el área de laboratorio rendimientos máximos del 24.7%.

2. Módulo de silicio puro policristalino. - En este tipo de módulo, el proceso de cristalización del silicio se basa en secciones de una barra de silicio que se distribuyen en forma desordenada de cristales pequeños. Se destacan a simple vista por tener una superficie de aspecto granulado, con un rendimiento menor a los del tipo monocristalino de un 19.8 % y 14 % en módulos comercializados.

A través del manejo del silicio con otras estructuras o materiales semiconductores, es probable conseguir módulos más delgados que permiten su adaptación a superficies irregulares en algunos casos, denominados así módulos o paneles de lámina delgada, entre los que destacan:

1. Módulo de silicio amorfo. - En este tipo de módulos, el silicio no consigue la estructura cristalina, por lo que habitualmente son empleados para dispositivos electrónicos de tamaño pequeño, como por ejemplo las calculadoras. El rendimiento máximo alcanzado en laboratorios ha sido de 13 % y 8 % en módulos comercializados.
2. Módulo de telurio de cadmio. - Con un rendimiento del 16 % en laboratorios y 8 % en módulos comercializados.
3. Módulo de arseniuro de galio. - Cuenta con el material más eficiente, con rendimiento de 25.7 % en laboratorios y 20 % los comercializados.
4. Módulo de diseleniuro de cobre de indio. - Con un rendimiento alrededor de 17 % en laboratorios y del 9 % en los comercializados.

Aumentar el uso de módulos fotovoltaicos es un reto a nivel mundial, mediante la planificación, la observación de oportunidades y la acción de cambios es posible lograrlo.

III. Consumo energético en el sector comercial

En México, existían alrededor de 4.2 millones de micro y pequeñas empresas al año 2020, y representaban un 52 % en el producto interno bruto, ya que generaban el 70 % de empleos formales en el país [16].

Datos proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), en temas de ingresos por comercio al por mayor de mercancías provenientes de negocios pequeños y medianos en el 2018, los establecimientos de abarrotes tuvieron ingresos por compra-venta de \$20,264,644 MXN, en materiales para la construcción metálicos con ingresos de \$11,276,050 MXN, en ferreterías con \$62,910.277 MXN y en artículos de papelería con \$20,904,296 MXN [17].

Mediante encuestas, a través de la empresa GENERGY se obtuvo el consumo energético a partir del recibo de energía eléctrica de 10 micro y medianas empresas, estas

se clasificaron en P para microempresas y M para empresas medianas, y fueron nombradas iniciando con la letra A siguiendo el abecedario y anteponiendo P o M , con los consumos promedios de los periodos registrados se elaboró la Tabla 1.

Para las pequeñas empresas los consumos fueron desde 0.39 kWh promedio hasta 1.22 kWh promedio para el más alto. Dos promedios cercanos a un kWh promedio fueron de 0.92 y 0.99 kWh promedio, respectivamente.

En las empresas medianas el consumo promedio más alto fue de 2.16 kWh promedio y el más bajo fue 1.48 kWh promedio. Los otros dos resultados fueron muy cercanos dando 1.72 y 1.8 kWh promedio.

Los módulos fotovoltaicos tomados como referencia presentan las siguientes especificaciones técnicas: voltaje en circuito abierto (V_{oc}) 49.9 V, corriente en corto circuito (I_{sc}) 14 A y una potencia máxima (P_{max}) de 550 W.

Por lo que basados en la Ley de Watt para obtener la potencia donde W es igual a potencia, I es intensidad de corriente y V para voltaje tenemos:

$$P = V \times I \quad (1)$$

Sustituyendo con los parámetros del módulo fotovoltaico se tiene:

$$P_{max} = V_{oc} \times I_{sc} \quad (2)$$

En el caso de la conexión en serie de módulos fotovoltaicos se tiene que la potencia total P_t es igual a la suma de las potencias de un circuito en serie y se representa con la siguiente ecuación:

$$P_t = P_1 + P_2 + \dots + P_n \quad (3)$$

Sustituyendo con las especificaciones del módulo de muestra se tiene que:

$$\begin{aligned} P_t &= 550W + 550W \\ P_t &= 1100W \end{aligned}$$

Conociendo la fórmula para obtener el promedio en kWh/h tenemos que:

$$\text{Promedio}_{CE} = \frac{\sum \text{Consumos bimestrales Wh}}{\text{No. de bimestres} \times 1000} \quad (4)$$

Como se muestra en el ejemplo de la tienda $P - A$ se tiene:

$$\begin{aligned} \text{Promedio}_{P-A} &= \frac{1334 + 1098 + 886 + 894 + 1428 + 1525}{6 \times 1000} \\ \text{Promedio}_{P-A} &= \frac{7165}{6000} \end{aligned}$$

$$\text{Promedio}_{P-A} = 1.19 \text{ kWh}$$

Con estos resultados se obtuvo que dos módulos fotovoltaicos de 550 W conectados en serie cubren fácilmente 1.1 kWh, se puede observar que algunas tiendas no demandan ni un kW de potencia por lo que es probable que con un sistema más robusto puedan incluso cubrir hasta el 99 % durante el día.

En la actualidad existen distintos módulos fotovoltaicos en el mercado y algunos fácilmente generan entre 500 W y 600 W, entre los que se pueden encontrar en México se tienen: SUNPOWER con una potencia de 510 W, LONGI con una generación de potencia de 550 W, TRINASOLAR que actualmente tiene una generación de potencia de 600 W.

Lo anterior se estipula en caso de tener una producción óptima del sistema fotovoltaico, sin embargo, sabemos que el clima es un factor crucial en la generación del panel solar, cuando se presenta algún tipo de nubosidad el sistema rinde hasta un 50 %, esto debido a la radiación difusa y a la radiación solar que se refleja en la superficie.

Al final del bimestre se realiza una resta simple, la diferencia entre los kW/h consumidos y los kW/h generados. Si el cliente consume más de lo que produce, únicamente paga la diferencia del cálculo anterior, y si produce más de lo que consume paga únicamente el mínimo establecido, que oscila los \$50.00 pesos MXN en tarifa Pequeña Demanda en Baja Tensión (PDBT), mientras que en Gran Demanda en Media tensión Horaria GDMTH y GDMTO se encuentra arriba de los \$600.00 pesos MXN. Para observar como actúa el sistema fotovoltaico, al cliente se le entrega un monitoreo, dependiendo del tipo de inversor o micro inversor, se le crea un usuario en la aplicación correspondiente para que pueda observar cuanto produce por día y en tiempo real.

La inversión más accesible es de \$27,000.00 MXN con una reducción del 26 % anual en las tarifas del suministrador de energía eléctrica. El precio incluye instalación eléctrica, dos paneles solares, un inversor o micro inversor, estructura y el trámite ante Comisión Federal de Electricidad (CFE) para el medidor bidireccional. Para la inversión de más alto costo la tasa interna de retorno a veinticinco años es de 32 % y una ganancia acumulada de \$504,914.00 MXN a quince años como se puede observar en la Tabla 2.

Las tiendas comerciales pequeñas se pueden encontrar en tarifa PDBT o Domestica de Alto Consumo (DAC) en caso de tener alto consumo, sin embargo, en empresas medianas o más grandes en tarifa GDMTH o GDMTO requieren por normativa de la NOM-001-SEDE de una Unidad de Inspección de la Industria Eléctrica (UIIE) y una Unidad de Verificación de Instalaciones Eléctricas (UVIEE) obligatoria para poder realizar el trámite con CFE. El costo se encuentra en los \$70,000.00 pesos MXN,

Tabla 1: Consumo energético en kWh por día en un periodo bimestral

Empresa	Feb- Abr	Abr- Jun	Jun- Ago	Ago- Oct	Oct- Dic	Dic- Feb	Consumo Total	Consumo Promedio	Paneles
Tienda P-A	1334	1098	886	894	1428	1525	7165	1.19	2
Tienda P-B	550	820	350	421	280	420	2841	0.47	1
Tienda P-C	530	750	680	602	600	512	3674	0.61	1
Tienda P-D	816	1121	1045	1245	889	754	5870	0.98	2
Tienda P-E	950	1025	1027	857	997	852	5708	0.95	2
Tienda P-F	301	506	589	725	480	625	3226	0.54	1
Tienda M-A	1049	1254	1851	1985	1548	1263	8950	1.49	3
Tienda M-B	1812	2155	1996	1754	1601	1476	10794	1.80	4
Tienda M-C	1354	1472	2150	1699	1669	1896	10240	1.71	3
Tienda M-D	2254	2570	2579	2100	1657	2678	13838	2.31	5
							72306	1.21	2

Tabla 2: Costo de la instalación por kW

Sistema	Costo	Ahorro anual	TIR a 25 años	Ganancia 15 años
1 kWp	\$27,000	26 %	34 %	\$143,562
2 kWp	\$54,000	53 %	35 %	\$295,354
3 kWp	\$81,000	79 %	35 %	\$444,146
4 kWp	\$108,000	92 %	32 %	\$504,914
Sin sistema	-	0	0	0

Tabla 3: Consumo kWh promedio anuales

Consumos por 1 kWh promedio	
kWh anuales	4,085
Precio promedio × kWh	\$2.46 MXN
Pago promedio bimestral	\$1,677.26 MXN
Pago Total Anual a CFE	\$10,063.59 MXN

después con la generación de CO₂ que se puede evitar, adaptando el uso de sistemas fotovoltaicos en área residencial, como se puede ver en la Tabla 4.

incluye gestoría, memorias de cálculo y los dictámenes correspondientes, además cabe mencionar que el medidor bidireccional para esas tarifas de media tensión no lo provee CFE, por lo que se debe comprar aparte, y se encuentra en \$30,000.00 pesos MXN, todo ese gasto se le debe sumar al costo del sistema fotovoltaico.

IV. Consumo energético en el sector residencial

Según el último censo del INEGI en 2020 la población total de Nuevo Laredo era de 425,058 habitantes, siendo 50.8 % mujeres y 49.2 % hombres. Se registró que 12.8 % de las viviendas concentró a jefes de hogar entre 45 a 49 años, el registro total en Nuevo Laredo Tamaulipas México fue de 120,000 viviendas [18].

Para el presente estudio se aplicaron 50 encuestas en sectores de la ciudad y los consumos de una vivienda promedio con base en el análisis fueron desde 200 kWh a 300 kWh en el recibo de CFE más actual del mes de marzo del 2022, tomándolo como muestra promedio estándar del estudio. En la Tabla 3 se presenta el resumen de los consumos dentro del rango del promedio anual.

Al realizar el cálculo fotovoltaico, se tomó en cuenta el 99 % de la generación del consumo, para compararlo

Tabla 4: Dimensionamiento fotovoltaico

Sistema	Pago bi- mestral promedio	Ahorro en el pago anual	TIR a 25 Años	Recuperación de la Inver- sión (años)
3.0 kWp	\$46.00	97 %	11.2 %	6.32
Sin Sis- tema	\$1,677.26	0 %	0 %	0

Si el sistema fotovoltaico se implementa, la cuota de \$1,677.26 MXN se reduce a \$46.00 MXN; abarcando el 99 % del consumo normal en la vivienda. Por otro lado, en el caso de no implementar el sistema se seguiría pagando \$1,677.26 MXN por cada recibo si se promedia a una muestra bimestral estándar y se siguen generando emisiones de CO₂, tomando en cuenta que el consumo es variable durante el año. A continuación, en la Tabla 5 se muestra la generación total de CO₂ generado por el uso de energía eléctrica.

Para la tabla anterior se tiene como referencia que: 1,000 kWh $\dot{0}.456 tCO_2e$. A manera de ejemplo se pue-

Tabla 5: Generación total de tCO₂ por uso de energía eléctrica

Datos	kWh consumidos	tCO ₂ e generadas (mínimo) bimensual	tCO ₂ e generadas (mínimo) anual
Dato EPA	1000	0.456	2.736
Dato recibo	267	0.121752	0.730512

de decir que la cifra corresponde aproximadamente al volumen de una piscina de las siguientes dimensiones: 10m × 25m × 2m, que equivale a una piscina de unos 500 metros cúbicos (m³) [19]. En este caso se llenaría una piscina de 500 m³, dado que el mínimo es de 0.73 tCO₂e, cerca del 1.0 tCO₂e generadas anualmente, por vivienda.

Para resolver el problema de las emisiones generadas por el uso de la energía eléctrica convencional, se propone el siguiente dimensionamiento fotovoltaico, en referencia al recibo de análisis utilizado en este caso. En la Figura 1 se presenta el diagrama unifilar del sistema fotovoltaico interconectado a la red de una vivienda.

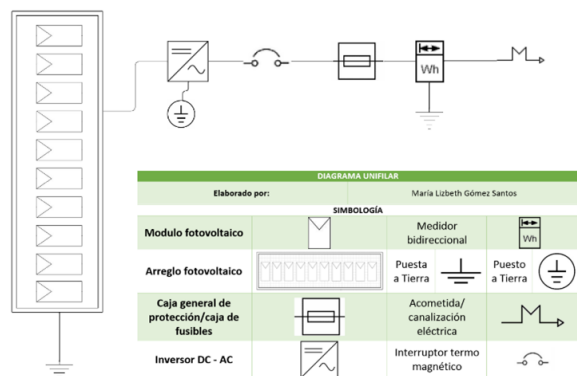


Figura 1: Diagrama unifilar

El módulo fotovoltaico utilizado fue el modelo JAM60S03 300/PR abarcando 10 piezas totales y un inversor modelo Sunny Boy 3.0-US.

Comparando los datos del antes y después del análisis sobre la adquisición de un sistema fotovoltaico en área residencial, se obtuvo que bimestralmente de los \$1,667.26 MXN de tarifa solo se pagarían \$46.00 MXN ya con el sistema instalado, debido a una cotización sugerida, sin importar la temporada del año y no alterando sus hábitos de consumo eléctrico. Sin el sistema fotovoltaico se tendría una generación de 0.11752 tCO₂e, véase la Tabla 6. Mientras que en el análisis anual el pago de la tarifa es de \$10,063.59 MXN y se tendría una reducción a \$276.00 MXN con la reducción de 0.73512 tCO₂e como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 6: Análisis bimensual de la instalación

Antes		Después	
Pago a CFE, promedio (MXN)	tCO ₂ mínimo generado	Pago a CFE, promediado (MXN)	tCO ₂ mínimo generado
\$1,677.26	0.11752	\$46.00	0

En la Tabla 7 se presentan los resultados del análisis anual que se obtendría después de la instalación.

Tabla 7: Análisis anual de la instalación

Antes		Después	
Pago a CFE, promedio (MXN)	tCO ₂ mínimo generado	Pago a CFE, promediado (MXN)	tCO ₂ mínimo generado
\$10,063.59	0.730512	\$276.00	0

Según datos del censo Poblacional 2020, el registro en Nuevo Laredo fue de 120,000 viviendas en total y con los datos obtenidos de la generación de CO₂ en vivienda promedio se puede realizar el cálculo bimestral mediante el producto vivienda por generación de CO₂ equivalente, esto da como resultado 14,102.4 tCO₂e que se reducen. Mientras que con los datos obtenidos de la generación de CO₂ en vivienda promedio se puede realizar el cálculo anual mediante el producto vivienda por generación de dióxido de CO₂ equivalente, esto da como resultado 35,171,422.4 tCO₂e que se reducen tal como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8: kWh reducidos y tCO₂e proyectados en Nuevo Laredo

Periodo	tCO ₂ prevenidos	kWh reducidos
Bimestral	111,765.6	35,014,285.2
Anual	1,341,187.2	420,171,422.4

Con la adquisición de sistemas fotovoltaicos con interconexión a la red se obtiene un ahorro de hasta un 80 % en el recibo de energía eléctrica, esto trae consigo la protección sobre los incrementos a la tarifa eléctrica, es un consumo amigable con el medio ambiente además de darle plusvalía al hogar con un diseño moderno y sustentable.

V. Resultados

V.1. Resultados para el área comercial

Los costos para un sistema fotovoltaico en el área comercial rondan hasta los \$108,000.00 MXN para el 99 % de ahorro, incluyendo todos los preparativos, para un consumo anual de 5,441 kWh, con un pago promedio de \$3,490.29 MXN bimestrales, el pago anual promedio de \$20,941.74 MXN. En la Figura 2 se simula el comportamiento del ahorro en las tres opciones que se presentaron. La primera barra muestra el consumo anual sin utilizar paneles solares, la segunda barra muestra un sistema de 1.0 kWp, con un ahorro aproximado del 30 % durante un año, y en la tercera barra se muestra un sistema de 2.0 kWp con un ahorro del 50 % durante el año.

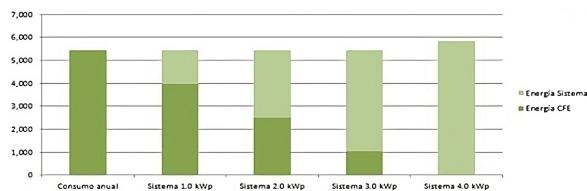


Figura 2: Consumo energético con paneles solares

La cuarta barra muestra un ahorro del 90 % con un sistema de 3.0 kWp y la última es del 99 % con 4.0 kWp equivalente a 8 paneles solares, recordemos que no es posible tener un ahorro del 100 %.

Además del ahorro energético, se tiene las emisiones de gases de efecto invernadero por el uso de la energía no renovable por lo que también hay una disminución de la contaminación del aire con la energía solar fotovoltaica, lo equivalente de 1,000 kWh $\dot{0}.456 tCO_2e$, el estimado de toneladas emitidas en un año, se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9: Toneladas de emisiones de dióxido de carbono anual kWh reducidos y tCO_2e prevenidos

Empresa	Consumo total kWh	Emisión tCO_2e
Tienda P-A	3648	1663.49
Tienda P-B	1180	538.08
Tienda P-C	1810	825.36
Tienda P-D	2750	1254.00
Tienda P-E	2974	1356.14
Tienda P-F	1370	624.72
Tienda M-A	4448	2028.29
Tienda M-B	5409	2466.50
Tienda M-C	5173	2358.89
Tienda M-D	6490	2959.44

V.2. Resultados para el área residencial

Los consumos de una vivienda promedio fueron desde 200 kWh a 300 kWh en el recibo más actual del mes de marzo del 2022, de acuerdo con las encuestas realizadas a través de la empresa GENERGY a 50 viviendas. Mientras que con el caso del recibo de análisis se obtuvo un consumo de 4,085 kWh anualmente con el pago de \$1,677.26 MXN. Véase en la Tabla 10.

Tabla 10: Antes y después de la adopción de un sistema fotovoltaico interconectado a la red del caso de análisis área residencial

Periodo	Antes		Después	
	Pago MXN	tCO_2e generado	Pago MXN	tCO_2e generado
enero-marzo promedio bimestral	\$280.00	0.11752	\$46.00	0
Anual	\$1,677.26	0.93138	\$46.00	0
Anual	\$10,062.15	11.17	\$276.00	0

Al realizar el cálculo fotovoltaico, se tomó en cuenta en este caso de análisis, el 99 % de la generación del consumo, para compararlo después con la generación de CO_2 que se puede evitar.

Adaptando el uso de sistemas fotovoltaicos en área residencial, con costo de \$81,000.00 MXN en caso particular, incluyendo todos los preparativos. Se obtuvo como resultado que al adquirir un sistema fotovoltaico la cuota de \$1,677.26 MXN se reduce a \$46.00 MXN en cada recibo.

Esto indica que solo se pagaría por el servicio de la CFE; abarcando el 99 % del consumo ideal ya que a efectos prácticos el rendimiento de los módulos fotovoltaicos será menor por factores no controlables como el clima, nubosidades o fallos en la red que impiden la interconexión, pero generando una producción mayor a 80 % en los módulos fotovoltaicos durante 25 años de vida útil.

Por otro lado, en el caso de no implementar el sistema se seguiría pagando \$1,677.26 MXN por cada recibo, continuando con la emisión mínima de 0.11752 tCO_2 , en el mes de marzo, y 0.93138 tCO_2 en términos generales del caso de análisis bimestralmente.

La adopción de la energía solar fotovoltaica es una gran opción, ya que tiene una vida útil de 25 años y una inversión recuperable entre el segundo y tercer año, además reduce los gastos por consumo de electricidad, se genera energía eléctrica gracias al sol que es inagotable y se demuestra el compromiso de la sustentabilidad y el medio ambiente.

VI. Conclusiones

En el análisis del consumo energético de las tiendas comerciales, algunas si requerían una demanda promedio del 50 % e incluso mayor, sin embargo esto era con las que tenían un consumo menor, mientras que las que tenían un consumo mayor se necesitaba de un 30 % para su consumo promedio, por lo que se puede concluir que la demanda energética promedio está entre un 30 % y 50 %, con las instalaciones propuestas se podrá tener un ahorro considerable en su gasto bimestral también se puede llegar a reducir a más de 10,000 toneladas de gases de efecto invernadero, y será una inversión más accesible con un retorno de inversión mínimo a tres años, sin la necesidad de cubrir la totalidad de la demanda energética.

Adquirir un sistema fotovoltaico interconectado a la red para el área residencial, fomenta cultura energética y apreciación al medio ambiente, ya que se reduce el consumo energético y la emisión contaminante de CO₂. Es por eso por lo que se mostraron los resultados del antes y después de adoptar un sistema fotovoltaico en residencia, en donde en el caso de análisis se pagaba un promedio general de \$1,677.26 MXN y después de implementar el uso de un sistema fotovoltaico el pago a CFE fue de \$46.00 MXN, evitando 0.11752 tCO₂e tan solo en el bimestre de enero a marzo. Y de manera general promediado 0.93138 tCO₂e por bimestre en una vivienda promedio, siendo 11.17656 tCO₂e anuales que se reducen de las emisiones al medio ambiente y que en reducción de energía eléctrica son 4,085 kWh.

Si en todo Nuevo Laredo se adquiriera el uso de sistemas fotovoltaicos interconectados a la red, se evitaría un promedio de 111,765.6 tCO₂e por bimestre respecto a la muestra estándar tomada del año 2022, pero por lo menos si una vivienda adquiere un sistema evitaría 0.93138 tCO₂e por el mismo periodo, lo que da a la reducción de un 8.34 % al total de emisiones generadas por el uso de energía eléctrica proveniente de energías no renovables.

Agradecimientos

Gracias a la empresa GENERGY por las facilidades brindadas para la aplicación de encuestas tanto en el área comercial y residencial, así como con la utilización de su software para realizar los dimensionamientos fotovoltaicos.

Referencias

- [1] Yolanda Benito. *Co 2 y cambio climático*. 2016. URL: <https://www.programainvestiga.org/pdf/guias2016-17/Guia%20introdutoria%20al%20tema%20CO2%20y%20cambio%20climatico.pdf> (visitado 01-02-2022).

- [2] Ediciones EL PAÍS. *El CO2 en el cambio climático | La Cumbre del Clima en EL PAÍS*. EL PAÍS, abr. de 2019. URL: <https://elpais.com/especiales/2019/el-co2-en-el-cambio-climatico/> (visitado 30-01-2022).
- [3] Guillermo Cárdenas et al. *México | Emisiones de Gases de Efecto Invernadero y acciones de mitigación y adaptación*. Ago. de 2021. (Visitado 26-07-2022).
- [4] Emmanuel Argüelles Ledesma y Graciela Solís González. *El Calentamiento Global*. docplayer.es, 2016. URL: <https://docplayer.es/12346259-El-calentamiento-global-autor-emmanuel-arguelles-ledesma-maestra-graciela-solis-gonzalez-escuela-telesecundaria-19-el-pipila.html> (visitado 31-01-2022).
- [5] Ramses Pech. *¿Qué compromisos tiene México sobre Cambio Climático?* Energía Hoy, feb. de 2021. URL: <https://energiahoy.com/2021/02/08/que-compromisos-tiene-mexico-sobre-cambio-climatico/#:~:text=Centrado%20en%20el%20fortalecimiento%20de> (visitado 09-08-2022).
- [6] Instituto Mexicano para la Competitividad. *10 PROPUESTAS POR UNA AGENDA CLIMÁTICA CON VISIÓN DE ESTADO 2018 - 2024*. Jun. de 2018. URL: <https://imco.org.mx/wp-content/uploads/2018/06/10-PROPUESTAS-CC-VISI%C3%93N-DE-ESTADO-13-06-2018.pdf> (visitado 06-10-2018).
- [7] Jorge Alberto Ortiz-Velázquez et al. «Análisis de la demanda residencial de electricidad en el Estado de México». En: *Economía, sociedad y territorio* 17 (abr. de 2017), págs. 199-223. DOI: 10.22136/est002017644. URL: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-84212017000100199#B8 (visitado 02-11-2021).
- [8] Instituto Nacional de Estadística y Geografía. *Población y Vivienda 2020*. Inegi.org.mx, 2022. URL: https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2021/EstSociodem/ResultCenso2020_Tam.docx (visitado 04-02-2022).
- [9] Dionicio Morales-Ramírez et al. «Análisis del consumo de energía eléctrica domiciliar en Tampico, Tamaulipas». En: *CienciaUAT* 8 (jun. de 2014), págs. 62-67. URL: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-78582014000200062 (visitado 24-08-2023).

- [10] Secretaría de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente del Gobierno de Tamaulipas. *PROGRAMA DE GESTIÓN PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AIRE 2018-2027 DEL ESTADO DE TAMAULIPAS*. 2018. URL: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/399257/28_ProAire-Tamaulipas.pdf (visitado 04-02-2022).
- [11] Mesa de Redacción. *Incentiva Nuevo Laredo la competitividad de negocios en materia de energía*. HoyTamaulipas, jun. de 2017. URL: <https://www.hoytamaulipas.net/notas/297627/Incentiva-Nuevo-Laredo-la-competitividad-de-negocios-en-materia-de-energia.html> (visitado 04-02-2022).
- [12] RODOLFO HERNÁNDEZ GALLEGOS. *ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD PARA LA INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE ENERGÍA LIMPIA MEDIANTE CELDAS FOTOVOLTAICAS PARA LA ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA DEL EDIFICIO 4 EN EL ITS LV*. 2017. URL: <https://ciateq.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1020/97/1/HernandezGallegosRodolfo%20MMANAV%202017.pdf> (visitado 01-02-2022).
- [13] Endef Solar Solutions. *Tipos de instalaciones solares fotovoltaicas: ¿Cómo encontrar mi instalación ideal?* Endef, mar. de 2020. URL: <https://endef.com/tipos-de-instalaciones-solares-fotovoltaicas-como-encontrar-la-ideal-para-mi/> (visitado 24-03-2022).
- [14] Ikaskuntza Birtual eta Digitalizatuen LHII. *Introducción a los sistemas fotovoltaicos conectados a red*. Ikaskuntza Plataforma Virtual. URL: https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/IEA/ISF/ISF05/es_IEA_ISF05_Contenidos/website_2_introduccion_a_los_sistemas_fotovoltaicos_conectados_a_red.html (visitado 25-03-2022).
- [15] Pedro Débora y Julio Ferichola. *CARACTERIZACIÓN DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS CON DISPOSITIVO PORTÁTIL Tutor*. 2009. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/29400299.pdf> (visitado 27-03-2022).
- [16] Daniel Torres Guzmán. *PyMES en México y su gran aliado en 2021: La transformación digital*. CompuSoluciones, ago. de 2020. URL: <https://www.compusoluciones.com/blog/pymes-mexicanas-en-2020/> (visitado 02-03-2022).
- [17] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). *Censos Económicos 2019. CE*. Censos Económicos 2019. CE, 2013. URL: <https://www.inegi.org.mx/programas/ce/2019/#Tabulados> (visitado 02-03-2022).
- [18] Blog de Economía y Finanzas Bankinter. *¿A qué equivale una tonelada de CO₂?* Bankinter, jul. de 2021. URL: <https://www.bankinter.com/blog/mercados/equivalencia-tonelada-co2> (visitado 04-03-2022).
- [19] Bankinter. *¿A qué equivale una tonelada de CO₂? Descúbrelo*. Bankinter, jul. de 2021. URL: <https://www.bankinter.com/blog/mercados/equivalencia-tonelada-co2> (visitado 04-03-2022).