

**Sistema Fotovoltaico para Mejorar la Economía de Familias
en Zonas Mayas. Un Estudio en Dzitbalché, Campeche.**

**Photovoltaic System to Improve the Economy of Families
in Mayan Areas. A Studio in Dzitbalché, Campeche.**

Eduardo Miguel Caamal-Chan¹

**Tecnológico Nacional de México | Instituto Tecnológico Superior
de Calkiní - México
7978@itescam.edu.mx**

María Eugenia López-Ponce²

**Tecnológico Nacional de México | Instituto Tecnológico Superior
de Calkiní - México
melopez@itescam.edu.mx**

Francisco Gerardo Barroso-Tanoira³

**Universidad Autónoma de Yucatán | Instituto Tecnológico
Superior de Calkiní | Universidad Anáhuac Mayab - México
fbarroso_tanoira@yahoo.com.mx**

doi.org/10.33386/593dp.2024.2.2246

V9-N2 (mar-abr) 2024, pp 288-302 | Recibido: 30 de noviembre del 2023 - Aceptado: 22 de enero del 2024 (2 ronda rev.)

1 ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-3712-9363>

2 ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7030-1843>

3 ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2035-2113>

Descargar para Mendeley y Zotero

RESUMEN

El presente estudio aborda la eficacia de la implementación de un sistema fotovoltaico de interconexión a la red eléctrica de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), en los hogares unifamiliares del municipio de Dzitbalché, en el Camino Real de Campeche, para disminuir los costos de energía y mejorar su calidad de vida de manera sostenible. Se realizó un análisis para determinar el mejor de los sistemas fotovoltaicos de acuerdo con los ingresos, las características de las viviendas unifamiliares y el entorno ambiental del municipio en estudio, así como la sostenibilidad de la energía producida en las viviendas.

La investigación consta de dos partes: (1) entrevista a habitantes de las viviendas unifamiliares, y (2) registro de radiación y kilowatts generados por el sistema fotovoltaico. En ambas el alcance fue exploratorio y luego descriptivo, con diseño no experimental transversal. En la primera el enfoque fue cualitativo y el método fue inductivo, con la entrevista como técnica y su correspondiente guía de preguntas. Para la segunda, el enfoque fue cuantitativo y el método fue deductivo, basado en observación dirigida a través de una hoja de verificación como instrumento de recolección. Por la ubicación geográfica y el índice de radiación que predomina en la zona, los resultados son muy favorables para la generación de electricidad, lo que reduce considerablemente el costo de los recibos de luz. Las conclusiones muestran que la implementación del sistema no solo es eficaz, sino eficiente en su funcionamiento. Se proponen igualmente hábitos para el ahorro de la energía eléctrica en los hogares.

Palabras claves: sistema fotovoltaico, camino real de campeche, vivienda unifamiliar, desarrollo sostenible

ABSTRACT

The present study addresses the effectiveness of the implementation of a photovoltaic system for interconnection to the electrical grid of the Federal Electricity Commission (CFE), in single-family homes in the municipality of Dzitbalché, on Camino Real de Campeche, to reduce the costs of energy and improve their quality of life in a sustainable way. An analysis was carried out to determine the best photovoltaic systems according to income, the characteristics of the single-family homes and the environmental environment of the municipality under study, as well as the sustainability of the energy produced in the homes.

The research consists of two parts: (1) interviews with inhabitants of single-family homes, and (2) recording of radiation and kilowatts generated by the photovoltaic system. In both, the scope was exploratory and then descriptive, with a non-experimental cross-sectional design. In the first, the approach was qualitative and the method was inductive, with the interview as a technique and its corresponding question guide. For the second, the approach was quantitative and the method was deductive, based on directed observation through a verification sheet as a collection instrument. Due to the geographical location and the radiation index that predominates in the area, the results are very favorable for the generation of electricity, which considerably reduces the cost of electricity bills. The conclusions show that the implementation of the system is not only effective, but also efficient in its operation. Habits for saving electrical energy in homes are also proposed.

Keywords: photovoltaic system, camino real de campeche, single-family home, sustainable development

Introducción

Guerra et al. (2018) mencionan que la demanda energética en el mundo se ha incrementado en los últimos años en un 30%, porcentaje que se elevará al 43% en el 2030 y, por lo consiguiente, los problemas generados serán descomunales en los ambientes sociales, económicos, ambientales y políticos. Desde hace varias décadas el hombre ha buscado la manera de generar energía para satisfacer sus necesidades, considerando que ésta proviene de recursos energéticos fósiles como el petróleo, el gas o el carbón, los cuales se han usado por más de 100 años como fuente de calor, energía luminosa, combustible para vehículos y producción de energía eléctrica.

En 2007, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change) presentó un reporte en el que se concluyó que, al ritmo de crecimiento actual, la temperatura del planeta aumentaría 6 °C para el fin de siglo XXI. En 2009, la Agencia Internacional de Energía presentó diversos escenarios y estrategias de mitigación por país con el fin de limitar el aumento de la temperatura a solo 2 °C en el año 2010 (André, De Castro, & Cerdá, 2012). Por otra parte, un informe sobre el calentamiento global, mediante investigaciones y mediciones de gases de efecto invernadero en los países altamente desarrollados concluyó que para erradicar dichos efectos habría que buscar una alternativa a la generación de energía limpia, como la radiación solar. Así, los objetivos prioritarios en cada país en cuanto a energía son la seguridad de abastecimiento, competitividad y sostenibilidad, es decir, fomentar el uso de energías renovables en el sector eléctrico y energético (Bachiller-Araque, 2010).

El cambio que se necesita debe estar basado en los nuevos paradigmas tecnológicos que desvinculen el crecimiento de los problemas ambientales, en particular las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), mediante el desarrollo y la utilización de nuevas tecnologías. Al respecto, Arencibia-Carballo (2016) propuso que el desarrollo de nuevas tecnologías para el

desarrollo sostenible, en cuanto a la generación de energías como la solar y la eólica, son la principal estrategia en las próximas décadas para reducir los problemas ambientales, ya que según los objetivos propuestos en el G20 los países deberán invertir en las nuevas tecnologías limpias y dejar atrás el uso de combustible fósiles. Es de gran importancia adoptar objetivos globalizados para fomentar el desarrollo sostenible para alcanzar las metas y contrarrestar los grandes desafíos que enfrenta el planeta.

Pese a que México cuenta con una de las mejores radiaciones solares en el mundo, la generación de energía está en gran medida atada a la energía fósil, donde el consumo de carbón en la generación de electricidad se incrementó a 13.2% en 2016. Barbosa-García et al. (2016) realizaron una comparación de eficiencias de conversión de energía en celdas fotovoltaicas de silicio monocristalino, policristalino y amorfo para mediciones meteorológicas. La metodología propuesta consistió en comparar modelos de desempeño de conversión fotovoltaica de diferentes autores a través de una simulación numérica para determinar la relación que existe entre la temperatura de la celda y la eficiencia de conversión fotovoltaica. Esto demostró que existe una relación inversamente proporcional entre la temperatura de la celda y la eficiencia de conversión fotovoltaica, indicando que, a mayor temperatura de la celda, la eficiencia de conversión de energía es menor.

El estado de Campeche aún no ha desarrollado estas fuentes energéticas debido a que el consumo nacional energético aún depende del petróleo y del gas natural. Esta transición ha sido lenta y en gran medida a través de la expansión de megaproyectos privados sin considerar los impactos sociales y ambientales. Hilario-Antonio (2021) se enfocó en el estudio del uso de energía eléctrica a través de la captación de energía solar con celdas fotovoltaicas para viviendas de zonas rurales en la región Junín, en Perú, experiencia que, aunada al análisis de diversas alternativas, ha contribuido para proponer una alternativa factible, viable y de valor económico aceptable mediante la metodología de diseño VDI 2221 (Verein Deutscher Ingenieure 2221) para

generación de energía eléctrica mediante energía solar en zonas asiladas del estado de Campeche.

Contexto de los sistemas Fotovoltaicos

Fuentes de energía

La demanda energética cada vez es mayor debido al crecimiento poblacional e industrial, necesitando mayor consumo energético y trayendo consigo problemas económicos, sociales y ambientales. Una posible solución para suplir esta demanda y disminuir los problemas causados por la generación eléctrica actual es la energía solar fotovoltaica, dado que la región del Camino Real de Campeche (a la que pertenece Dzitbalché) cuenta con un adecuado nivel de potencia de radiación solar según la secretaria de Energía (2016), pudiendo sacarse provecho de esta fuente energética con diferentes tecnologías.

La energía siempre ha sido fundamental para el funcionamiento y desarrollo de la civilización, y de forma especial, se ha dependido de los derivados del petróleo, el carbón, el gas natural y la electricidad. En la actualidad, las energías renovables (fotoeléctrica, solar, eólica y biomasa) se están impulsando por parte de los gobiernos cuyos países son deficitarios de las energías clásicas. Si se suma la energía hidráulica, estas energías renovables suponen más del 25% de la energía total consumida en forma de energía eléctrica (Roldán-Viloria, 2008).

El elevado consumo de energía de origen fósil está llevando a que la contaminación general de la Tierra y su atmosfera sean muy elevadas, con graves resultados para los ecosistemas, la salud de las personas y el clima. Dado que las principales energías que se utilizan son no renovables, hay que buscar la forma de reducir sus consumos y, de modo especial, los niveles de contaminación que genera su uso, buscando una transición hacia las energías renovables en el futuro.

Roldán-Viloria (2008) define la energía como la capacidad de los cuerpos o conjunto de éstos para desarrollar un determinado trabajo. Disponer de energía es básico para el desarrollo y bienestar de un país, pues las energías alternativas

tienen mucha importancia en un momento en el que escasean las energías básicas principales, los precios de las energías están sujetos a los vaivenes de la política y de los intereses económicos de las empresas. El uso racional y eficiente de la energía (UREE) es importante porque conduce a un uso óptimo de ésta.

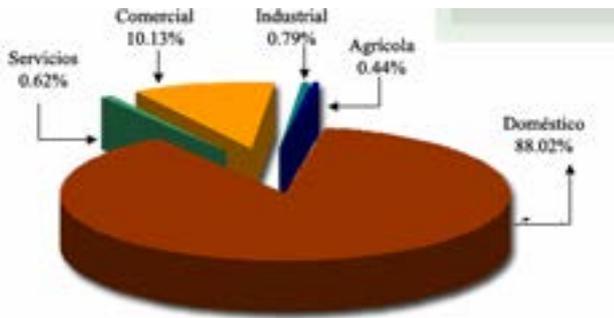
La definición de sostenibilidad fue propuesta por primera vez en el informe Brundtland, publicado en 1987, el cual establece que el desarrollo sostenible es aquel que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades (Aguado-Puig, 2018). Al respecto, la URRE contribuye a la seguridad energética y a la disminución de los precios de la energía. Si se aplica tanto en lo público como en lo privado, traza un camino que, unido a otras acciones energéticas, también contribuye a alcanzar tres objetivos supremos en materia energética: (1) superar la emergencia energética; (2) mejorar la balanza comercial energética, y (3) cumplir con el compromiso internacional sobre reducir las emisiones de dióxido de carbono (Pasquevich, 2016).

El sistema eléctrico en México aún sigue regulado por el Estado a través de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), la cual constituye un monopolio natural para la generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica, con los consecuentes costos superiores que impactan los bolsillos de las familias. Tiene 25.8 millones de clientes, de los cuales el 88.02% se ubica en el sector doméstico, lo que significa que la CFE obtiene la mayor parte de sus ingresos de las familias mexicanas, tal como se ilustra en la Figura 1, el 10.13% de sus clientes son del sector de las grandes cadenas comerciales, el 0.79% son distribuidas al sector industrial, principalmente en el norte de México, el 0.62% de la energía es destinada a los servicios del estado y solamente el 0.44% es destinado al sector agrícola. Los estándares actuales de calidad de dicha paraestatal están centrados básicamente en un par de aspectos: la calidad en el servicio y la calidad del suministro, evaluando a través de indicadores el desempeño

de la empresa (Robledo-Leal, 2008). Para dedicar más esfuerzos a lo agrícola, industrial servicios y comercial, sería conveniente que las viviendas pudieran generar su propia energía o parte de ella, ya que la CFE no tiene capacidad para invertir más en generación de energía en el corto plazo.

Figura 1

Distribución de clientes por sector. Calidad de la energía eléctrica de la CFE: camino a la normalización (Robledo-Leal, 2008).



Naal-Ocampo et al. (2022) mencionan que hoy en día los costos de electricidad impactan en las economías de los hogares, siendo la península de Yucatán el lugar con las tarifas más elevadas de electricidad. Los electrodomésticos de mayor demanda energética son hornos de microondas, aires acondicionados, refrigeradores, parrillas eléctricas y focos para la iluminación.

Energía fotovoltaica

Acciona(2020) plantea que la energía solar es una fuente de energía renovable, inagotable, limpia y sostenible en el tiempo. Producto de la sobreexplotación de recursos no renovables y los efectos generados por su consumo, se puede percibir una creciente conciencia social y de los gobiernos para optar y aprovechar esta fuente de energía. Esto puede verse por la mayor cantidad de sistemas de generación con base en energías solar y otras fuentes renovables instaladas y en proceso de instalación en México, las cuales son utilizadas como sistemas auxiliares o principales, dependiendo de la ubicación y recursos de quien las utilice.

Un sistema fotovoltaico es el conjunto de equipos eléctricos y electrónicos que produce

energía eléctrica a partir de la radiación solar (Lamigueiro, 2013). El principal componente de este sistema es el módulo fotovoltaico, a su vez compuesto por células capaces de transformar la energía luminosa incidente en energía eléctrica de corriente continua. El resto de equipos incluidos en un sistema fotovoltaico depende en gran medida de la aplicación a la que éste está destinado.

Huerta-Mascotte et al. (2016) mencionan que un panel FV (fotovoltaico) es una placa rectangular, formada por un conjunto de células FV protegidas por un marco de vidrio y aluminio anodizados. La función principal de un panel FV es la de soportar mecánicamente a las células FV y de protegerlas de los efectos degradables de la intemperie. La vida útil de un panel FV puede llegar a los 30 años, aunque los fabricantes otorgan garantías de 20 años. El mantenimiento típico consiste en una limpieza del vidrio para prevenir que las células FV no puedan capturar la radiación solar.

Voltaje, potencia y número de células de los paneles fotovoltaicos

Los paneles FV proporcionan voltajes de salida de 12 V, 20 V, 24 V y 30 V, dependiendo del número de células FV. Se necesita conectar 24 células en serie para alcanzar un voltaje nominal de salida de 12 V. La mayoría de paneles FV comerciales contienen alrededor de 36 células fotovoltaicas. La potencia de salida de un panel FV indica la capacidad de generar electricidad en condiciones óptimas de operación. Según Damia Solar (2022) la tendencia de la industria es ofrecer paneles con potencias de salida elevadas, pero se pueden encontrar en el mercado paneles fotovoltaicos de baja potencia (desde 5W), de potencia media (55W), y de alta potencia (hasta 160 W).

Los sistemas fotovoltaicos

AlusínSolar (2020) menciona que los sistemas fotovoltaicos están constituidos, en términos generales, por los siguientes componentes:

1. La radiación solar como fuente de energía.
2. El módulo solar o panel que va a ser el generador de electricidad a partir de la transformación de energía solar que capta.
3. La batería o acumulador de energía, cuya función corresponde al almacenamiento de energía eléctrica generada por el panel para ser usada posteriormente. Por ejemplo, en la noche en iluminación o cuando sea necesario
4. El regulador, cuya función fundamental consiste en servir de protección a las baterías contra sobre descargas y sobrecargas eléctricas
5. El inversor, que transforma la corriente continua generada por el panel, en corriente alterna para el uso en aparatos electrodomésticos
6. Los conductores que son los cables que conectan cada uno de los componentes anteriores y están especialmente diseñados para instalaciones a la intemperie.
7. Los conectores para negativo y el positivo, los cuales generalmente vienen ya incorporados a los paneles desde la fábrica y deben cumplir con especificaciones estándar según normas técnicas de instalaciones eléctricas para sistemas fotovoltaicos.

Figura 2
Componentes básicos de un sistema fotovoltaico



Nota. Adaptado de *componentes básicos de un sistema fotovoltaico*, por Díaz (2015).

Radiación solar

Para Efimarket (2023), la cantidad de irradiación solar (comúnmente referida como radiación solar) recibida en un metro cuadrado de área durante una hora a razón de 1000 W/m^2 , se conoce como hora-solar-pico (HSP), es decir, $1,000 \text{ Wh/m}^2$. La equivalencia con el SI (Sistema Internacional) indica que una hora-pico es de $3.6 \times 10^6 \text{ J/m}^2$. El número de horas-pico representa las horas que el captador aparentemente recibe el valor pico de la radiación de 1000 W/m^2 (Valdés-Barrón et al., 2020). La cantidad de energía por metro cuadrado no es la misma dependiendo de la localización (mientras más cerca del ecuador, mayor será ésta). En resumen, si en este lugar existen 5 HSP, se tiene cinco horas de sol que está transmitiendo $1,000 \text{ W/m}^2$, con lo cual esa superficie habrá recibido ese día $5,000 \text{ Wh/m}^2$, que es lo mismo que recibir 5 kWh/m^2 . Si se quiere saber cuánto genera la placa al día, solo se multiplica la HSP * Potencia del panel (en W).

Solarama (2023) menciona que el **cálculo HSP** se utiliza a menudo para dimensionar sistemas fotovoltaicos y para evaluar la viabilidad de proyectos de energía solar. Para realizar el Cálculo HSP se necesitan varios datos, como la ubicación geográfica del lugar donde se instalará el sistema fotovoltaico, la inclinación y orientación de los paneles solares y la eficiencia del sistema. Estos datos se utilizan para calcular la cantidad de energía solar que se espera que el sistema genere durante las horas pico. Es importante tener en cuenta que el Cálculo HSP no es una medida exacta de la cantidad de energía que se generará, ya que puede haber variaciones debidas a factores como la nubosidad, la contaminación y otros factores meteorológicos. Cabe mencionar que actualmente existen varias páginas científicas que proporcionan esos datos.

Para Arévalo (2021), los planes energéticos vigentes en el mundo se inclinan cada vez más al uso de energías renovables dentro de su matriz energética. Una instalación eléctrica en una determinada zona se ve afectada por las políticas y normas vigentes en cada municipio y provincia, y a su vez, dichas normas se acogen a indicadores internacionales como el acuerdo

de París. Cabe mencionar que el objetivo de desarrollo sostenible 7 (ODS 7) se refiere a la jerarquía de los planes energéticos partiendo de una zona en donde se pretende construir un proyecto, hasta las normas internacionales, con el objetivo de descarbonizar las sociedades futuras. Invertir en paneles solares beneficia a las PyMEs, proporciona información útil sobre el cuidado y preservación del medio ambiente y logra que las empresas se vuelvan responsables socialmente, lo que incentiva a invertir en esta fuente de energía.

Planteamiento del problema

El papel de la energía solar puede llegar a ser la fuente energética más importante para el 2050 debido a que tiene el potencial más amplio de todo el portafolio de energías disponibles, con un 40% (Beltrán-Telles et al., 2017). Sin embargo, en el municipio de Dzitbalché, en el norte del estado de Campeche, México, la mayoría de la población desconoce los términos y uso de los paneles solares, lo cual complica su aceptación en las viviendas, por lo que éstas incurren en mayor gasto de energía, tarifas más altas y dependencia hacia los combustibles de origen fósil, contribuyendo a una mayor huella de carbono. También es indispensable seleccionar el tipo de paneles solares que se pueden implementar en los hogares de acuerdo con las condiciones ambientales del municipio, así como su costo de acuerdo con el ingreso familiar.

En el municipio hay familias que no cuentan con energía eléctrica debido a la ubicación de sus viviendas o porque las colonias donde viven aún no cuentan con servicios básicos como pavimentación, agua potable y energía eléctrica. Las más vulnerables son las viviendas unifamiliares, término que se refiere a una construcción destinada a una sola familia (Camones-Olaza, 2019; Beguiristáin-Repáraz, 2000). En cada una de ellas habita un máximo de cinco integrantes y la superficie de construcción es de 70 a 80 m². Cada hogar cuenta con una licuadora, un televisor, de uno a tres celulares, un refrigerador y nueve focos ahorradores. Sin embargo, pocos cuentan con señal de Internet,

una computadora y un equipo de sonido. El ingreso económico por familia es medio o bajo en el municipio en estudio.

Las viviendas unifamiliares en el municipio de Dzitbalché tienen un consumo bimestral promedio de 500 kwh aproximadamente, el cual representa un consumo de bajo a intermedio si se considera que el precio promedio está alrededor de los \$0.815 pesos mexicanos por kWh, lo que indica que un hogar de dicho municipio paga en promedio \$407.5 bimestrales. Esto en gran medida les afecta el bolsillo, pues la mayoría de estas personas son campesinos, albañiles, ayudantes de albañil, moto taxistas y en general, personas que no tienen un sueldo fijo.

Objetivo del estudio

De lo anteriormente expuesto, surge el siguiente objetivo de investigación:

General

Evaluar la eficacia de un sistema fotovoltaico como alternativa económica y sostenible para la producción y consumo de energía eléctrica en las viviendas de población de escasos recursos de Dzitbalché, en el Camino Real de Campeche, México.

Específicos

- 1) Identificar los parámetros ambientales de la región del municipio de Dzitbalché.
- 2) Determinar las características de una vivienda unifamiliar del municipio de Dzitbalché.
- 3) Verificar el ahorro de energía como resultado de este estudio.

Justificación

El uso de sistemas fotovoltaicos proporciona otros beneficios adicionales como la mitigación de gases efecto invernadero y reducción de la huella de carbono. Además, actúa como una barrera contra el calor en los techos de los edificios debido a que impide que la radiación solar llegue directo a las azoteas en los climas cálido-húmedos, como lo es en la región del

Camino Real de Campeche.

La implementación de paneles solares en hogares y edificios arrojará cambios positivos como la de generar su propia energía, un menor pago por energía eléctrica consumida, una menor dependencia de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y mayor conciencia sobre el consumo sostenible de electricidad, reduciéndose además la posibilidad de fallas de suministro eléctrico. En el municipio referido se beneficiarían unas 530 familias y el pago por energía eléctrica podría reducirse hasta en un 90%.

Es necesario evaluar la radiación y la capacidad de generación en kilowatts de un sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica para dotar o mejorar el suministro de electricidad a familias de viviendas unifamiliares de escasos recursos a bajo costo, en este caso en el municipio de Dzitbalché. De esta forma, la energía solar podría ser una alternativa factible y viable para que los beneficios de la energía eléctrica a bajo costo estén al alcance de la población en general, sin depender de gastos de infraestructura pública, reduciendo la huella de carbono y logrando el desarrollo sostenible en materia de energía.

Método

Alcance y diseño

El estudio consta de dos partes: (1) entrevista a los hogares unifamiliares para detectar los hábitos de uso de la energía eléctrica, y (2) registro de radiación del municipio de Dzitbalché y de los kW generados por el sistema fotovoltaico. En ambas el alcance fue exploratorio y luego descriptivo, con diseño no experimental transversal, ya que no se manipularon deliberadamente las variables y los entrevistados participaron una sola vez (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018). En la primera, el enfoque fue cualitativo y el método fue inductivo, con la entrevista como técnica y su correspondiente guía de preguntas. Para la segunda el enfoque fue cuantitativo y el método fue deductivo, basado en observación dirigida a través de una hoja de verificación como instrumento de recolección.

Participantes

En la parte cualitativa se entrevistó a 50 jefas/es de familia de hogares unifamiliares, todos radicando en Dzitbalché, Campeche, en mayo de 2022. Se les escogió por intención según

su grado de involucramiento en el problema estudiado. La edad promedio de las jefas/es de familias es 46.5 años, la cantidad de integrantes de los hogares unifamiliares es de cuatro, de los cuales 68% son mujeres.

Instrumentos y procedimiento

Para la parte cualitativa se elaboró una guía de entrevista para conocer las características de las viviendas unifamiliares y entender la viabilidad de la implementación de paneles solares en dichas viviendas. El instrumento consta de dos apartados (A y B), en que el apartado A proporciona información sobre la familia, consta de una tabla señalando en sus diferentes campos, el número de integrantes de la familia, nombre, género, edad, parentesco, ocupación, ingreso mensual e ingreso fijo o variable, información que solo un integrante de la familia puede proporcionar. El apartado B se centra en información sobre la vivienda y está conformado por 12 preguntas, de las cuales 11 son de selección múltiple, y la pregunta 12 está redactada de forma abierta para los comentarios generales. La información se recabó mediante entrevistas presenciales, con duración aproximada de 30 minutos cada una.

En cuanto a la parte cuantitativa, los registros de la radiación del municipio de Dzitbalché fueron obtenidos mediante el uso del pirómetro (instrumento para medir radiación solar), teniendo como criterio los datos horarios que presentaron mayor radiación solar, comprendidos entre las 9:00 horas y las 16:00 horas de cada día estudiado, por un periodo de un año, los meses estudiados hasta ahora son enero-noviembre de 2023. También se contó con un sistema fotovoltaico para las mediciones correspondientes.

Los registros de los kW producidos por el sistema fotovoltaico fueron obtenidos directamente del inversor para posteriormente proyectar un análisis de la eficiencia y sostenibilidad de la energía producida, así como la comparativa con la tasa de retorno de la inversión. En ambos enfoques se usó la paquetería de Microsoft Office Excel como

herramienta, con la que se diseñaron dos tablas a conveniencia donde fueron vaciados los datos obtenidos para obtener los resultados que más adelante se detallan. La validez de contenido y constructo fueron verificadas por juicio de expertos (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018). Cabe mencionar que actualmente se siguen realizando mediciones de radiación y kilowatts generados por el sistema fotovoltaico.

Resultados

En la figura 3 se puede observar la ocupación de los jefe/as de las familias de acuerdo con las entrevistas realizadas en cada vivienda unifamiliar en Dzitbalché. Como se señala, las ocupaciones que más sobresalen, de mayor a menor actividad laboral, son: agricultor, moto taxista, albañil, maestro, trabaja por su cuenta, empleado, comerciante, negocio propio, taxista, contador, mecánico, carpintero, cobratarario, empleado municipal, contratista, ganadero, supervisor, herrero, jubilado, repartidor de agua, panadero y peluquero.

Figura 3

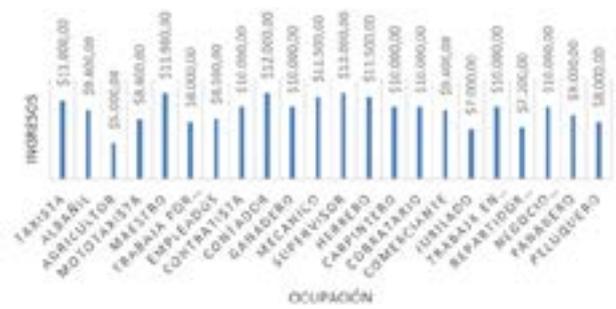
Número de familias y Ocupación de los jefes/as de familia



De acuerdo a su actividad laboral, los que tienen una economía estable son los contadores, supervisores, mecánicos, maestros y herreros, mientras que los más vulnerables económicamente son el agricultor, jubilados, repartidores de agua, moto taxistas y albañiles, como se puede observar en la figura 4.

Figura 4

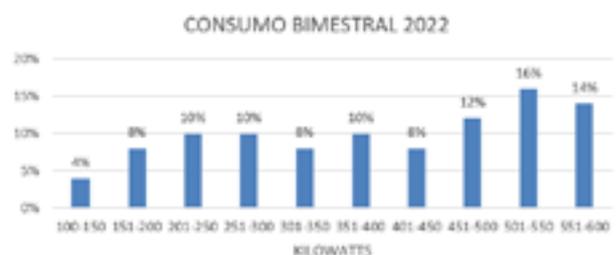
Ingresos por actividad laboral



En la figura 5 se puede observar el historial de consumo promedio en kilowatts en el año 2022 de las familias encuestadas, dividido por bimestre. Haciendo énfasis de la energía consumida que van entre los 451 a 500 kW representa el 12% entre los que se encuentran: un albañil, un campesino, un maestro, un moto taxista, un peluquero y un cobratarario; de 501 a 550 KW con 16%, cuyas ocupaciones son: un jubilado, un moto taxista, un cobratarario, un agricultor, dos maestros, un herrero, y un contratista; 551 a 600 KW con un 14%, cuyas ocupaciones son: un panadero, un maestro, un carpintero, dos comerciantes, un contador y un mecánico, que en conjunto suman un total del 42% de los kilowatts consumidos por las viviendas unifamiliares.

Figura 5

Historial de consumo (kW) bimestral de las familias entrevistadas



Teniendo como criterio los datos horarios que presentan mayor radiación solar en el tiempo asignado, se obtuvo un promedio mensual en la región en estudio, como se puede observar en la figura 6. Cabe mencionar que las mediciones realizadas arrojaron que existen picos de radiación entre las 11:00 a.m. y 14:00 p.m.

Figura 6
Promedio de radiación mensual (W/m^2)



En referencia a la radiación solar promedio captada mensualmente, se puede deducir la cantidad de HSP que tiene cada mes, como se observa en la figura 7, teniendo como en referencia la radiación solar que llega en un m^2 con una constante de 1,000 W. Estos datos servirán para calcular la proyección de los kW que genera el sistema fotovoltaico.

Figura 7
Hora solar pico (enero-noviembre 2023)



Cálculo de paneles solares en la vivienda unifamiliar

De acuerdo con los datos obtenidos en el consumo bimestral de las viviendas, como se ilustra en la figura 5, para hacer el cálculo de paneles solares correcto y determinar cuántos y de qué potencia, se aplicó la siguiente fórmula:

$$(E \times 1.3) / (\text{HORAS SOLAR PICO} \times \text{POTENCIA DEL PANEL})$$

Donde E es el consumo diario total de una vivienda unifamiliar, 1.3 es un factor de

seguridad, el cual significa sobredimensionar un 30% más el consumo. Las HSP son las horas en que se cuenta con el sol en la ubicación en la que se requiere instalar este sistema fotovoltaico. Por último, la “Potencia del panel” depende de la marca del panel solar. El consumo promedio de una vivienda unifamiliar es de 550 kW bimestral, por lo que se toma esa cantidad y se divide entre 60 días, lo que proporciona un consumo diario de 9.166 kW: $(9166 \text{ W} \times 1.3) / (5 \times 550 \text{ W}) = 4.3 = 4$ paneles

Costo de inversión

Un sistema fotovoltaico adquirido en la ciudad de Mérida, Yucatán, incluye cuatro módulos solares de 550 W, aislados en 24 Vcd (voltaje de corriente directa) de 144 células monocristalino grado A, marca LONGI. El inversor es marca Growat de 3.3 kW, kit de rieles de aluminio next-rail para cuatro paneles e incluye costos de instalación. Todo eso asciende a \$31,741.00 (treinta y un mil setecientos cuarenta y un pesos).

La suma de los cuatro módulos fotovoltaicos da un total de 2.2 kW de capacidad del sistema. Dicha producción depende del sol y la cantidad de días del mes. Multiplicando la HPS diaria promedio según el mes del año por el número de días del mes y la capacidad fotovoltaica de los paneles, se obtienen los kW generados mensualmente. En la tabla 1 se aprecia la generación de energía mes a mes, con sistema fotovoltaico (SFV) ideal y con pérdidas de un 15% debido a condiciones climáticas reales y/o algún otro imprevisto.

Tabla 1
Proyección de la producción de energía mensual (enero-noviembre de 2023)

PROYECCIÓN DE PRODUCCIÓN DE ENERGÍA 2023					
MES	HPS	DÍAS	FUENTE (kW)	kWh/mes SFV IDEAL	kWh/mes SFV (-15%)
Enero	4.73	31	2.2	322.58	274.19
Febrero	5.54	28	2.2	341.26	290.07
Marzo	6.06	31	2.2	413.29	351.29
Abril	6.15	30	2.2	405.9	345.01
Mayo	6.27	31	2.2	427.61	363.47
Junio	5.6	30	2.2	369.6	314.16
Julio	5.82	31	2.2	396.92	337.38
Agosto	5.95	31	2.2	405.79	344.92
Septiembre	6.03	30	2.2	397.98	338.28
Octubre	4.57	31	2.2	311.674	264.92
Noviembre	3.54	30	2.2	233.64	198.59
ENERGIA TOTAL GENERADA (kWh)				4,026.244	3,422.3

En la figura 8 se observa gráficamente la producción de energía mensual de acuerdo con la proyección de la tabla 1. Como se muestra en la gráfica, los meses de marzo, abril, mayo y agosto tienen una producción por encima de los 400 kWh de energía mensual.

Figura 8
Producción de energía mensual 2023



Rentabilidad económica

En la tabla 2 se observa el retorno sobre la inversión de las viviendas unifamiliares cuyo monto de facturación promedio actual es de \$546.00 bimestralmente. Se puede observar que el ahorro anual en la facturación de la energía eléctrica, por parte de CFE, es de \$3,112.20,

mientras que el costo de inversión que es de \$ 31,741.00. Se obtiene el retorno sobre inversión dividiendo \$31,741.00 del costo de la implementación, entre el ahorro anual, que es de \$3,112.20, dando un resultado de 10 años.

Tabla 2
Retorno de inversión de una vivienda unifamiliar

Número de paneles	4	Ahorro en factura	95 %	
Panel	550 W	Producción anual en condiciones óptimas aproximadamente	4,485.536 kWh	
		Promedio de Producción bimestral en condiciones óptimas aproximadamente	773.54 kWh	
Ahorros estimados aproximados en una vivienda unifamiliar de Dzitbalché				
Periodo	Pago actual	Pago con SFV	Ahorro con SFV	% de ahorro con SFV
bimestral	\$546	\$27.3	\$518.7	95%
1er año	\$3,276	\$163.8	\$3,112.20	95%
10 años	\$32,780	\$1,638.00	\$31,122	95%

Tabla 3
Eficacia energética en Dzitbalché, Campeche

Para las viviendas unifamiliares en Dzitbalché, Campeche que consumen alrededor de 500 a 600 watts de energía			
Sin el sistema fotovoltaico		Con el sistema fotovoltaico	
Número de paneles	0	Número de paneles	4
Inversión	0	Inversión	\$31,741.00
Retorno de inversión	0	Retorno de inversión	10 aproximadamente
Consumo bimestral	500 a 600 Watts	Consumo bimestral	25 a 40 watts
Costo de factura eléctrica	\$445 a \$534	Costo de factura eléctrica	\$25 a \$50
ahorro	0%	ahorro	90% a 95%

Discusión

Schallenberg-Rodríguez et al. (2008) mencionan que el ahorro energético y la eficiencia energética se definen como el acto de efectuar un gasto de energía menor al habitual, es decir, consiste en reducir el consumo de energía mediante actuaciones concretas, pero

manteniendo el mismo nivel de confort. Esta afirmación tiene relación con el contenido de esta investigación, de tal manera que los hábitos de consumo de las viviendas unifamiliares pueden reflejarse en el pago bimestral de sus recibos de luz, como consecuencia de eliminar los hábitos que despilfarran energía.

En la actualidad, los sistemas fotovoltaicos tienen una amortización a corto plazo. La financiación inicial o inversiones propias en este tipo de energía es rentable por la gran aceptación actual y condiciones de mercado, así como por el abaratamiento de dichos sistemas. Esto coincide con las conclusiones de Mireles-Sosa (2017), quien menciona, desde una perspectiva global, que el auge de la energía solar fotovoltaica ha sido uno de los acontecimientos más decisivos en la industria de la energía desde 2012 y está ayudando a redefinir el futuro de la generación de energía en todo el mundo. Cabe mencionar que los costos, tanto de inversión inicial como de producción, se han reducido entre un 55% y un 65% durante los últimos años y seguirán a la baja.

Los sistemas fotovoltaicos son ampliamente sostenibles, amigables con el medio ambiente, rentables y eficientes en la producción de energía. Las celdas solares basadas en materiales orgánicos, conjuntamente con otras fuentes de energía renovables, serán las proveedoras de energía del futuro. Barbosa-García et al. (2012) mencionan que para sustituir las fuentes de energía no renovables se tendrá que recurrir a diversas tecnologías que satisfagan las necesidades actuales de consumo energético. Un ejemplo de ello son las celdas OPVs (fotovoltaicos orgánicos), que actualmente buscan complementar y/o sustituir en lo posible el uso de la tecnología basada en materiales inorgánicos. Entre las ventajas de las celdas OPVs se tiene un costo menor en la producción de energía, ya que no se requiere de laboratorios sofisticados de alto costo ni de mantenimiento elevado.

Uno de los hallazgos de esta investigación, con base en las entrevistas realizadas, es que las viviendas unifamiliares no cuentan con medidas,

técnicas o hábito de ahorro energético, lo que lleva a un aumento en el pago de la factura de energía eléctrica de los hogares, impactando directamente en la economía familiar y la calidad de vida de las viviendas.

Conclusiones

En este trabajo se ha presentado una visión actual y general de las condiciones de las viviendas unifamiliares y sus hábitos de consumo energético. Con base en la revisión bibliográfica y en los resultados, puede concluirse que los sistemas fotovoltaicos no solo son eficaces, sino eficientes debido a que logran un ahorro del 90 al 95% en los pagos bimestrales de la factura eléctrica mediante el uso de sistemas fotovoltaicos de primera calidad, como resultado las familias solo pagarían un 5% de sus facturas correspondiente al DAP (Derecho de Alumbrado Público). Además, el uso de este sistema es sostenible para la generación de energía eléctrica en las viviendas unifamiliares de escasos recursos en la región en estudio. Según la revisión de la literatura y los resultados obtenidos, puede concluirse también que la radiación solar será la fuente de energía sostenible del futuro.

Las políticas energéticas de México permiten la implementación de sistemas fotovoltaicos en los hogares, sin restricciones y con pocos trámites burocráticos. Actualmente, la implementación de paneles solares es eficaz y ecológica, pero el alto costo de su adquisición hace que solamente los que tengan una economía estable puedan adquirirla. A las familias de economía baja-media que tienen un sueldo variable se les hace muy difícil invertir un monto igual o superior a \$30,000 pesos, por lo que el apoyo proveniente de organizaciones gubernamentales y de la sociedad civil será importante para que dichas familias adquieran los equipos con alternativas de pago según la condición económica que presentan. La inversión inicial es fuerte para estos hogares, pero el ahorro en pago de energía eléctrica es redituable para ellos y evita sobrecargar el sistema de CFE.

Para lograr la sostenibilidad no basta con el ahorro potencial. Es importante desarrollar

hábitos de consumo energético a través de talleres y estrategias de mercadotecnia social, en que se fomente un uso racional de la energía en toda la población, así como adecuar las viviendas para aprovechar mejor el consumo. Aquí pueden colaborar el Gobierno, las instituciones educativas, la iniciativa privada y las organizaciones de la sociedad civil.

Un país será fuerte si tiene energía y la utiliza de manera sostenible. La obtención de energía por medios eficientes, en este caso la solar, debe ser un valor que se incorpore a la cultura de cada lugar. Lo contrario llevaría a la dependencia energética, con en consecuente subdesarrollo y falta de oportunidades. Entonces, a mejor uso de la energía, más desarrollo y sostenibilidad.

Referencias

- Acciona (2020). *Energía Solar*. https://www.accionacom/es/energias-renovables/energia-solar/?_adin=02021864894
- Aguado-Puig, A. (2018). *Desarrollo sostenible: 30 años de evolución desde el informe Brundtland*. (Tesis doctoral inédita). Universidad de Sevilla, Sevilla. <https://idus.us.es/handle/11441/81489>
- AlusínSolar (2020) *Principales componentes de una instalación fotovoltaica*. <https://alusinsolar.com/principales-componentes-de-una-instalacion-fotovoltaica/>
- André, F. J., De Castro, L. M., & Cerdá, E. (2012). Las energías renovables en el ámbito internacional. *Cuadernos económicos de ICE*, 83, 11-36. https://www.researchgate.net/profile/Francisco-Andre/publication/277269010_Las_energias_renovables_en_el_ambito_internacional/links/5582861308ae12bde6e4c5bf/Las-energias-renovables-en-el-ambito-internacional.pdf
- Arencibia-Carballo, G. (2016). La importancia del uso de paneles solares en la generación de energía eléctrica. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 17(9),1-4. [fecha de Consulta 28 de octubre de 2022]. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63647456002>
- Arévalo, W. (2021). *Optimización en dimensionamiento y control energético de sistemas híbridos de energías renovables en Ecuador*. Universidad de Jaén. <https://ruja.ujaen.es/handle/10953/1056>
- Bachiller-Araque, J. (2010). Energía y Sostenibilidad. El reto europeo del logro de los objetivos del 2020. *Economía industrial*, (377), 127-139. <https://www.mincotur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/377/127.pdf>
- Barbosa-García, O., Maldonado, J. L., Ramos-Ortiz, G., Rodríguez, M., Pérez-Gutiérrez, E., Meneses-Nava, M. A., ... & de Alba, P. L. L. (2012). Celdas solares orgánicas como fuente de energía sustentable. *Acta Universitaria Multidisciplinary Scientific Journal*, 22(5), 36-48. <https://www.redalyc.org/pdf/416/41623360005.pdf>
- Beguiristáin-Repáraz, I. (2000). *La vivienda unifamiliar y la búsqueda del ideal orgánico: una experiencia truncada*. <https://dadun.unav.edu/bitstream/10171/23519/1/2000%2019.pdf>
- Beltrán-Telles, A., Morera-Hernández, M., López-Monteagudo, F. E., & Villela-Varela, R. (2017). Prospectiva de las energías eólica y solar fotovoltaica en la producción de energía eléctrica. *CienciaUAT*, 11(2), 105-117. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-78582017000100105&script=sci_arttext
- Camones-Olaza, M. A. (2019). *Evaluación de patologías del concreto de las viviendas unifamiliares del puerto de Huarmey, Ancash*. <http://repositorio.unjpsc.edu.pe/handle/20.500.14067/2940>
- Damia Solar (2022). *Tipos de paneles solares fotovoltaicos*. <https://www.damiasolar.com/actualidad/blog/articulos-sobre-la->

- [energia-solar-y-sus-componentes/tipos-de-placas-solares-fotovoltaicas_1](#)
- Efimarket (2023). **¿Qué es la Hora Solar Pico (HSP), para qué sirve y cómo calcularlo?** <https://www.efimarket.com/blog/la-hora-solar-pico-hsp-sirve-calcularlo/#:~:text=De%20forma%20sencilla%20decimos%20que,que%20est%C3%A1%20trasmitiendo%201000W%2Fm2>.
- Guerra, N., Guevara, M., Palacios, C., & Crupi, F. (2018). Operation and physics of photovoltaic solar cells: an overview. *Revista de I+D Tecnológico*, 14(2), 84-95. <https://core.ac.uk/download/pdf/234019594.pdf>
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: la ruta cuantitativa, cualitativa y mixta*. Mc Graw Hill Education.
- Hilario-Antonio, M. P. (2021). *Análisis de sistema de energía eléctrica utilizando celdas fotovoltaicas en las zonas rurales de la región Junín*. https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/6849/T010_76240395_T.pdf?sequence=1
- Huerta-Mascotte, E., Mata-Chávez, R. I., Estudillo-Ayala, J. M., Sierra-Hernández, J. M., Guryev, I., & Lizarraga-Morales, R. A. (2016). Estudio de las características de una celda fotovoltaica para el uso eficiente de la energía solar. *Acta Universitaria Multidisciplinary Scientific Journal*, 26. <https://www.actauniversitaria.ugto.mx/index.php/acta/article/view/868>
- Lamigueiro, O. P. (2013). *Energía solar fotovoltaica*. Creative Commons e-book. España. 192pp. https://www.researchgate.net/profile/Oscar-Perpinan-Lamigueiro/publication/249012821_Energia_Solar_Fotovoltaica/links/02e7e51e80783f1d9f000000/Energia-Solar-Fotovoltaica.pdf
- Mireles-Sosa, C. T. (2017). *Análisis financiero de inversión en planta fotovoltaica en las Islas Canarias para periodo del 2008 al 2014* (Tesis de licenciatura inédita). [https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/42052/2/TFG_Mireles%20Sosa%20Cristina%20Tatiana\(1\).pdf](https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/42052/2/TFG_Mireles%20Sosa%20Cristina%20Tatiana(1).pdf)
- Naal-Ocampo, A., Martín-Canché, B. R., Vanoye-Eligio, M., Casado-Ramírez, E. J., Guillén-Tajé, J. L., & Alavez-Góngora, J. A. (2022). Cultura de ahorro energético en hogares del municipio de Escárcega, Campeche. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(6), 5975-5684. <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/3835>
- Naciones Unidas (s.f.). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Pasquevich, D. M. (2016). *Los beneficios del uso racional y eficiente de la energía*. <https://core.ac.uk/download/pdf/224793128.pdf#page=27>
- Robledo-Leal, G. M. (2008, 22 al 24 de octubre). *Calidad de la energía eléctrica: camino a la normalización*. Simposio de Metrología, https://www.cenam.mx/simposio2008/sm_2008/memorias/S5/SM2008-S5B2-1188.pdf
- Roldán-Viloria, J. (2008). *Fuentes de energía*. Ediciones Paraninfo, SA. https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=1VSdl7o_t2kC&oi=fnd&pg=PP1&dq=fuentes+de+energ%C3%ADa&ots=aGrctYXEg4&sig=nz9dr0mdPx_tF4CFh32Y9aiQDEo#v=onepage&q=fuentes%20de%20energ%C3%ADa&f=false
- Shallenberg, J., Rodríguez, G., Piernavieja-Izquierdo, C., Hernández-Rodríguez, P., Unamunzaga-Falcón, R., García-Déniz, M., Díaz-Torres, D., Cabrera-Pérez, G., Martel-Rodríguez, J., Pardilla-Fariña, V., & Ortin, S. (2008). *Energías renovables y eficiencia energética*. Instituto Tecnológico de Canarias, S.A. <https://www.cienciacanaria.es/files/Libro-de-energias-renovables-y-eficiencia-energetica.pdf>

Secretaría de Energía (2016). *Prospectiva de energías renovables 2016-2030*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/177622/Prospectiva_de_Energ_as_Renovables_2016-2030.pdf

Solarama (2023). ¿Qué es y cómo calcular hora solar pico? <https://solarama.mx/blog/como-calculer-hora-solar-pico/>

Valdés-Barrón, M. G., Bonifaz-Alfonzo, R., González-Cabrera, A. E., Estévez-Pérez, H. R., Rodríguez-Rasilla, I., Retama-Hernández, A., & Riveros-Rosas, D. (2020). *Energía solar disponible en la ciudad de México*. En CIES2020-XVII Congreso Ibérico e XIII Congreso Ibero-americano de Energía Solar (pp. 905-910). LNEG-Laboratorio Nacional de Energía y Geología. <https://repositorio.lneg.pt/handle/10400.9/3445>