

# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS ADMINISTRATIVAS



“INVERSIÓN EN SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EN LA ZONA DE MEXICALI,  
BAJA CALIFORNIA”.

**PRESENTA:**

MANUEL JUVENTINO BRAMBILA VALDEZ

**PARA OBTENER EL DIPLOMA DE:**  
ESPECIALIDAD EN DIRECCIÓN FINANCIERA

**DIRECTOR DE TESIS:**

DR. ROBERTO BURGUEÑO ROMERO

Mexicali, Baja California;

Octubre de 2024

## **Dedicatoria.**

Mi trabajo de investigación se lo dedico a mi familia, mi madre, mi padre y mi hermana, que siempre me han estado acompañando en mi formación como profesional, dándome apoyo en mis éxitos y fracasos, espero poder enorgullecerlos y algún día regresarles un poco de todo lo que me han dado. También quiero agradecer a la Facultad de Ciencias Administrativas, por el

conocimiento y las experiencias que obtuve a lo largo de este año, se que todas estas herramientas las utilizaré con ética y responsabilidad con el fin de contribuir positivamente a mi comunidad. Por último, quiero agradecer a mi director de Tesis el Dr. Roberto Burgueño quien siempre estuvo pendiente de mi investigación, apoyándome con enseñanza y conocimiento para que este trabajo se desarrollara con éxito.

## Índice.

Índice de Figuras .....	3
Índice de tablas .....	4
Resumen .....	5
Abstract.....	6
Introducción.....	7
Descripción de ubicación .....	7
Sistemas Fotovoltaicos.....	11
Comisión Federal de Electricidad.....	17
Antecedentes.....	18
Preguntas de investigación .....	20
Objetivos.....	21
Hipótesis .....	21
Planteamiento del problema .....	21
Justificación .....	23
Marco Teórico .....	25
Sustentabilidad ambiental .....	25
Medidas de sustentabilidad .....	25
Metodología.....	30
Costo de energía eléctrica .....	31
Costo de instalación .....	32
Generación de energía.....	33
Determinación de niveles.....	36
Ahorro anual .....	38
Resultados.....	40
Conclusiones.....	40
Bibliografía.....	43

## Índice de Figuras.

Figura 1. “Ubicación Mexicali, Baja California” .....	8
Figura 2. “Datos históricos de temperatura en Mexicali 2022” .....	9

Figura 3. “Horas de luz natural y crepúsculo en Mexicali 2022” .....	9
Figura 4. “Nubosidad reporta por horas en Mexicali 2022” .....	10
Figura 5. “Precipitación registrada en Mexicali 2022” .....	11
Figura 6. “Irradiación global de enero (kWh / m <sup>2</sup> – día)” .....	13
Figura 7 “Irradiación global de julio (kWh / m <sup>2</sup> – día)” .....	14
Figura 8 “Irradiación global anual (kWh / m <sup>2</sup> – día)” .....	15
Figura 9 “Panel Solar tipo Policristalino” .....	16
Figura 10 “Panel Solar tipo Monocristalino” .....	16
Figura 11 “Estructura de soporte” .....	17
Figura 12. “Inversor Solis 3.6 kW” .....	18
Figura 13. “Logo de Comisión Federal de Electricidad” .....	19
Figura 14. “Alexandre-Edmond Becquerel” .....	20
Figura 15. “William Grylls Adams” .....	20
Figura 16. “Albert Einstein” .....	20
Figura 17. “Daryl Chapin” .....	21
Figura 18. “Fallas de Riesgo en Baja California” .....	23
Figura 19. “Baterías para sistemas fotovoltaicos” .....	26
Figura 20. “Componentes de paneles solares” .....	28
Figura 21. “Generación de energía a través de una granja solar” .....	29
Figura 22. “Componentes de paneles solares vidrio” .....	30
Figura 23. “Planta de generación de energía por combustión de gas” .....	31
Figura 24. “Comportamiento de generación de energía mensual” .....	35
Figura 25. “Ángulos Solares” .....	36
Figura 26. “Comportamiento de ahorro en porcentaje y monetario” .....	41

#### Índice de tablas.

Tabla 1. “Costo de kilowatt-hora en temporada de invierno” .....	32
Tabla 2. “Costo de kilowatt-hora en temporada de verano” .....	33
Tabla 3. “Porcentaje de apoyo gubernamental aproximado” .....	33

Tabla 4. “Costo de material y equipo por kilowatt instalado” .....	34
Tabla 5. “Consumo mensual promedio de energía” .....	37
Tabla 6. “Segmentación de recibos de energía” .....	38
Tabla 7. “Cantidad de material por nivel” .....	38
Tabla 8. “Costo de inversión por capacidad instalada” .....	39
Tabla 9. “Ahorro anual promedio por nivel” .....	40
Tabla 10. “Ahorro anual promedio por nivel en porcentaje” .....	41
Tabla 11. “Costo de inversión por nivel en pesos mexicanos” .....	42
Tabla 12. “Retorno de inversión en base a ahorro anual” .....	42
Tabla 13. “Flujos de ahorros anuales” .....	44
Tabla 14. “Retorno de inversión tomando en cuenta VPN” .....	44

### **Resumen.**

La realización de la evaluación de proyecto de inversión en sistemas fotovoltaicos en la zona de Mexicali, Baja California, nace por la necesidad de reducir costos en la factura de energía que llega mensualmente a los ciudadanos de la ciudad de Mexicali, en la cual se ven afectados comercios o pequeños negocios y la economía familiar. En conjunto con la empresa Futura Energy, empresa que se principalmente a ofrecer el servicio de instalaciones fotovoltaicas, se planteó evaluar la inversión de estos servicios en la zona de Mexicali, como un solución real y rentable. Se tomarán en cuenta factores técnicos y económicos, que tienen que analizarse con gran precisión, debido a que, si no cumplen con los requisitos mínimos técnicamente para el cliente, su inversión no cumplirá el objetivo, o sea el retorno de inversión a corto plazo. Los factores económicos van a la par de los factores técnicos, ya que, si no son evaluados con precisión, la inversión en este tipo de tecnología puede que resuelva el problema en reducir costos en la factura de energía, sin embargo, la inversión no fue rentable por el factor costo-beneficio, dando como resultado solo sustituir un problema por otro o puede darse el caso de empeorarlo.

Por lo tanto, se analizaron 10 recibos de energía de la zona delimitada, en los cuales evaluó cada uno, buscando las necesidades energéticas y económicas. También se estimó un consumo promedio de energía anual en base a la muestra, para así, cuantificar el monto de inversión necesario para cada caso, en el cual se estimó por una división de niveles (consumo bajo, consumo medio y consumo alto).

Tomando en cuenta los factores mencionados anteriormente, se busca analizar si la inversión de sistemas fotovoltaicos para reducir el costo de la factura de energía, es una inversión rentable, también está en base a los resultados obtenidos, se buscará seleccionar cuales son los mejores escenarios para realizar este tipo de inversión y en cuales este tipo de tecnología no es la mejor opción.

**Abstract.**

The evaluation of the investment project in photovoltaic systems in the Mexicali, Baja California area arises from the need to reduce costs in the monthly energy bills for the residents of Mexicali. This affects businesses, small enterprises, and household economies. In collaboration with Futura Energy, a company primarily focused on providing photovoltaic installation services, there was a proposal to assess the investment in these services in the Mexicali area as a real and profitable solution.

Technical and economic factors will be taken into account and analyzed with great precision. If the technical requirements are not met for the client, the investment will not achieve its objective of a short-term return on investment. Economic factors are equally important, as a lack of accurate evaluation can result in the investment not being cost-effective, potentially replacing one problem with another or even worsening the situation.

Therefore, an analysis was conducted on 10 energy bills from the defined area, evaluating each one to identify energy and economic needs. An average annual energy consumption was also estimated based on the sample, allowing the quantification of the investment required for each case, categorized by consumption levels (low, medium, and high).

Considering the factors mentioned above, the aim is to determine whether investing in photovoltaic systems to reduce energy costs is financially viable. Based on the results obtained, the goal is to identify the best scenarios for this type of investment and determine situations where this technology may not be the optimal choice.

**PALABRAS CLAVE:** Fotovoltaico, Energía, Inversión, Mexicali.

**KEY WORDS:** Photovoltaic, Energy, Investment, Mexicali.

## Introducción.

### Descripción de ubicación.

La zona en que se delimitó esta investigación es toda la zona de Mexicali, la cual se encuentra ubicada en el Estado de Baja California en el país de México, las coordenadas que delimitan esta zona son de 32°39'48"N 115°28'04"O.

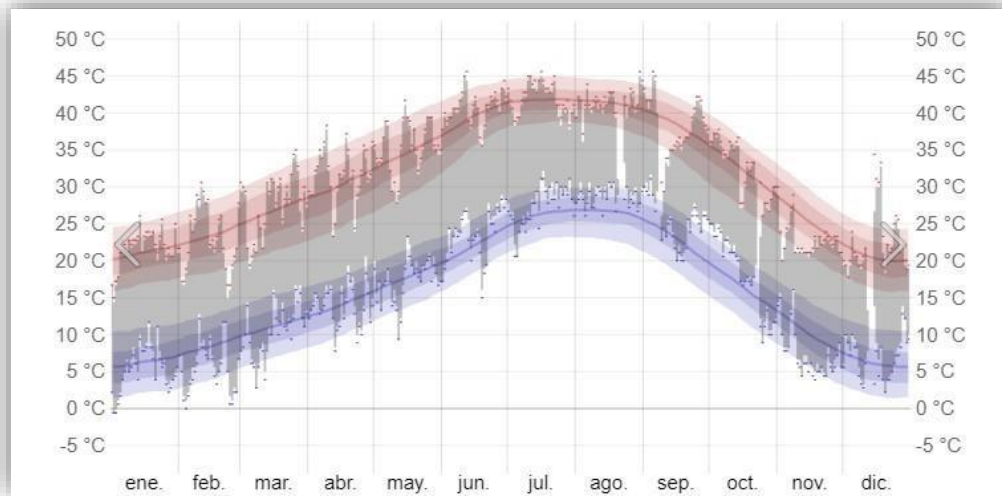
Figura 1 Ubicación Mexicali, Baja California.



Fuente Localización de la ciudad de Mexicali. (2018). Datos históricos meteorológicos de Mexicali 2022. Evaluación multi peligro de las instalaciones críticas en la ciudad de Mexicali.

La zona tiene registrado un clima desértico cálido. En la temporada de verano (periodo que abarca desde el mes de mayo hasta el mes de octubre), se registran temperaturas que superan los 41 °C, se puede apreciar el comportamiento de la temperatura en el año 2020 en la figura 2. Otro factor que afecta el tipo de clima, son “las horas con Sol”, las cuales llegan a superar las 14 horas con Sol en la temporada de verano, se puede observar su comportamiento durante el año en la figura 3.

Figura 2. Datos históricos de temperatura en Mexicali 2022.



Fuente.  
Weather

Spark. (2023). Datos históricos meteorológicos de Mexicali 2022. <https://es.weatherspark.com/h/y/2211/2022/Datos-hist%C3%B3ricos-meteorol%C3%B3gicos-de-2022-en-Mexicali-M%C3%A9xico#Figures-Summary>.

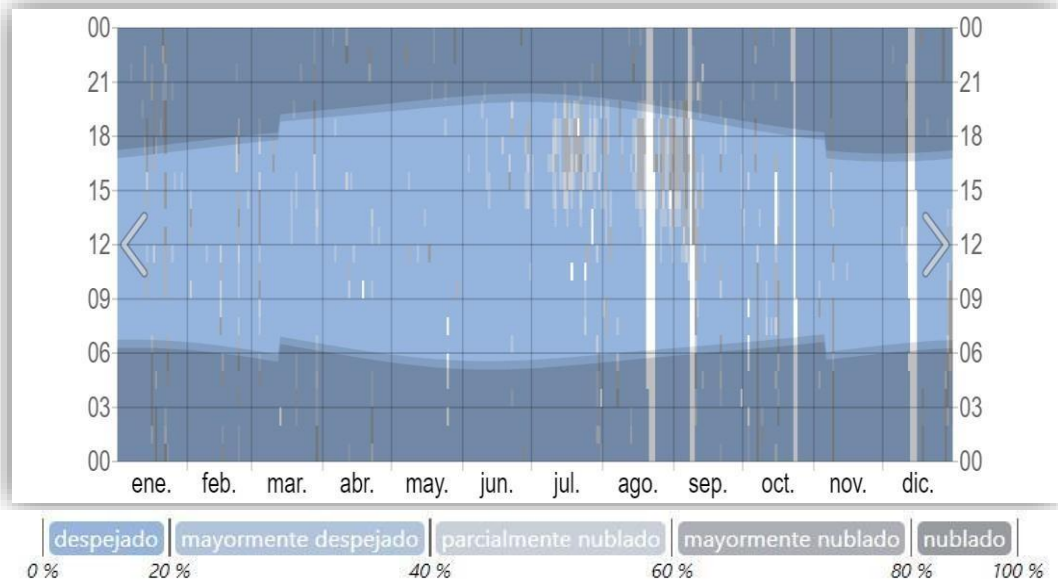
Figura 3. Horas de luz natural y crepúsculo en Mexicali 2022.



Fuente. Weather Spark. (2023). Datos históricos meteorológicos de Mexicali 2022. <https://es.weatherspark.com/h/y/2211/2022/Datos-hist%C3%B3ricos-meteorol%C3%B3gicos-de-2022-en-Mexicali-M%C3%A9xico#Figures-Summary>.

El clima es factor que nos indica si el “recurso solar” es alto o bajo, por lo tanto, otra característica que se toma en cuenta es el nivel de precipitación y la nubosidad que se presenta durante el año. En la figura 4 podemos observar el comportamiento de la nubosidad en la zona.

Figura 4. Nubosidad reportada por horas en Mexicali 2022.



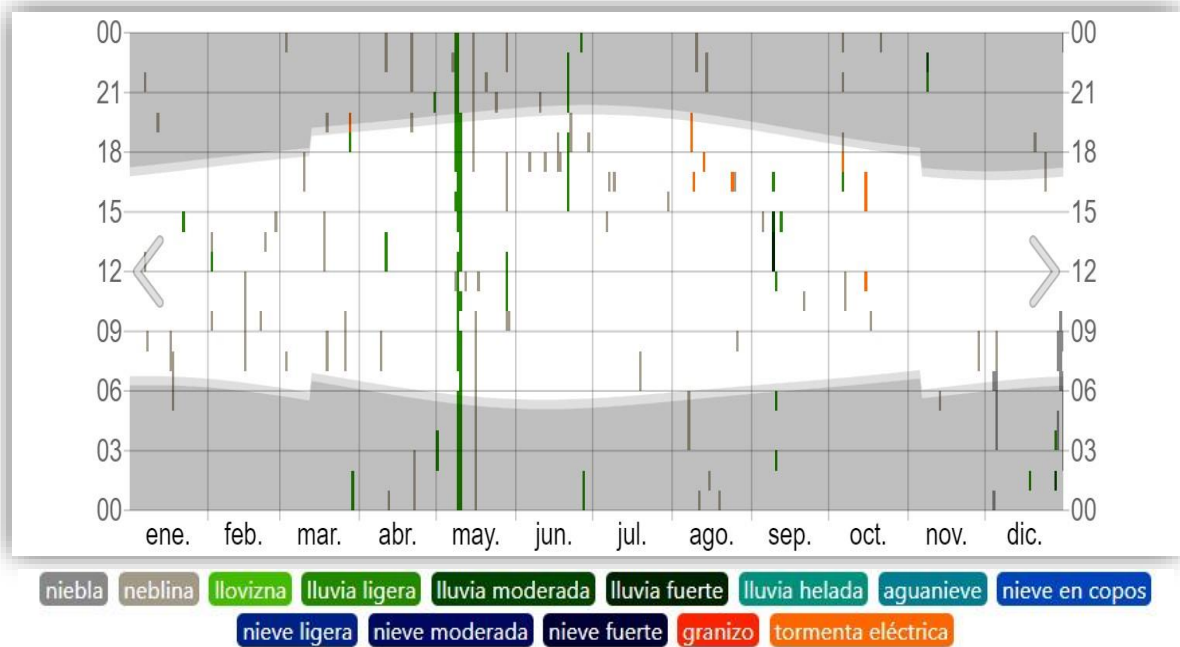
Fuente. Weather Spark. (2023). Datos históricos meteorológicos de Mexicali 2022.

<https://es.weatherspark.com/h/y/2211/2022/Datos-hist%C3%B3ricos-meteorol%C3%B3gicos-de-2022-en-Mexicali-M%C3%A9xico#Figures-Summary>.

En la figura 4 se puede observar que la nubosidad más significativa se encuentra entre los meses de julio, agosto y septiembre, se presentan en los tres meses después de las 15:00, se puede apreciar que fueron periodos cortos durante estos meses. La mayor parte del año, la zona se encuentra despejada, lo que se puede traducir como, en la mayor parte del año no hay obstrucción de la radiación solar para la zona de Mexicali por parte de nubosidad.

Existe otro factor dentro del clima que se relaciona con la nubosidad, esta es la precipitación de la zona, en la figura 4 se muestra el comportamiento de la precipitación en la zona de Mexicali.

Figura 5. Precipitación registrada en Mexicali 2022.



Fuente: Weather Spark. (2023). Datos históricos meteorológicos de Mexicali 2022.

<https://es.weatherspark.com/h/y/2211/2022/Datos-hist%C3%B3ricos-meteorol%C3%B3gicos-de-2022-en-Mexicali-M%C3%A9xico#Figures-Summary>.

En la figura 5 podemos observar cómo se presentaron precipitaciones durante todo el año, sin embargo, observamos que las de mayor magnitud fueron en el mes de julio y octubre, en los cuales se representa mediante un color naranja siendo referente a una tormenta eléctrica, estas precipitaciones se presentaron después de las 15:00 horas. También se observa un caso que lo podemos considerar como aislado en el mes de mayo, se observa una lluvia moderada durante todo el día representado por un color verde oscuro. Con la figura 3 y la figura 4 podemos determinar que las lluvias y la nubosidad se presentan como casos aislados en la temporada de verano, mientras que en la temporada de invierno se presentan con mayor frecuencia, sin embargo, en un bajo porcentaje. Tomando en cuenta estos factores climáticos, se puede entender de una mejor manera el recurso solar de la zona.

El recurso solar se puede cuantificar por medio de la radiación solar la se caracteriza de la siguiente manera:

La radiación solar es emitida por el Sol, la cual llega a la atmósfera de la tierra en una forma considerablemente debilitada ( $136 \frac{W}{m^2}$ ), debido a la distancia entre el Sol y la

Tierra, después de dicha radiación sufre una atenuación debido a la capa atmosférica, es por esto que la superficie terrestre recibe una radiación de  $1,000 \frac{W}{m^2}$  (Miguel Pareja,

2010, p.14).

Dentro de la radiación solar podemos encontrar que existen cuatro tipos, la primera y de mayor impacto es la radiación directa, luego la radiación difusa, en tercer lugar, la radiación reflejada y podemos catalogar a la cuarta radiación solar como la radiación global la cual es la suma de las tres anteriores. Para esta investigación se utilizará la radiación global, ya que como su nombre lo dice, toma en cuenta los tres tipos de radiación las cuales todas estas son aprovechadas por los sistemas fotovoltaicos.

Las unidades que se utilizarán en esta investigación para referirnos al recurso solar serán, los  $\frac{kW}{m^2}$

(Kilowatt sobre metro cuadrado y  $\frac{kWh}{m^2}$  (kilowatt-hora sobre metro cuadrado), esto es porque

existen dos definiciones con las que se puede trabajar el recurso solar, la irradiancia y irradiación, las cuales se definen de la siguiente manera:

Irradiancia: se define como el flujo de radiación solar que incide sobre una unidad de superficie en un tiempo dado. Se expresa normalmente en  $\frac{W}{m^2}$ , aunque también en  $\frac{kW}{m^2}$ .

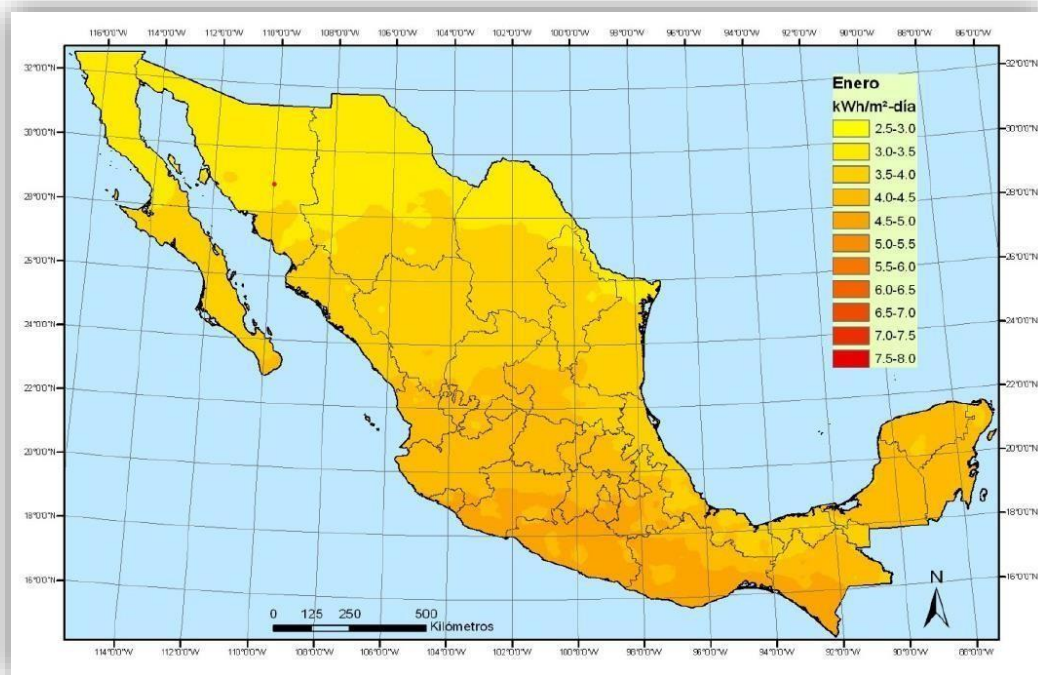
Irradiación: Se define como la energía por unidad de superficie a lo largo de un periodo de tiempo. Se expresa en julio (energía) por metro cuadrado  $\frac{J}{m^2}$ , aunque también se puede expresar en  $\frac{Wh}{m^2}$  (potencia) mediante la conversión de unidades. También se expresa en  $\frac{kWh}{m^2}$

para fines prácticos (Miguel Pareja, 2010, p.16).

Tomando en cuenta estos conceptos, podemos analizar el recurso solar del país de México, para poder analizar la situación en la zona de Mexicali. Según el “Prontuario Solar de México”, Adalberto Tejada Martínez y Gabriel Gómez-Azpeitia (2015, p.52) tomando en cuenta el concepto de irradiación global  $\frac{kWh}{m^2}$  proyectada en la figura 5, la irradiación global-diaria promedio del mes

enero la cual para fines prácticos de esta investigación se tomará en cuenta como la irradiación global de la temporada de invierno.

Figura 6. Irradiación global de enero (kWh / m<sup>2</sup> – día).



Fuente.

Adalberto Tejada Martínez y Gabriel Gómez-Azpeitia (2015). Prontuario Solar de México.

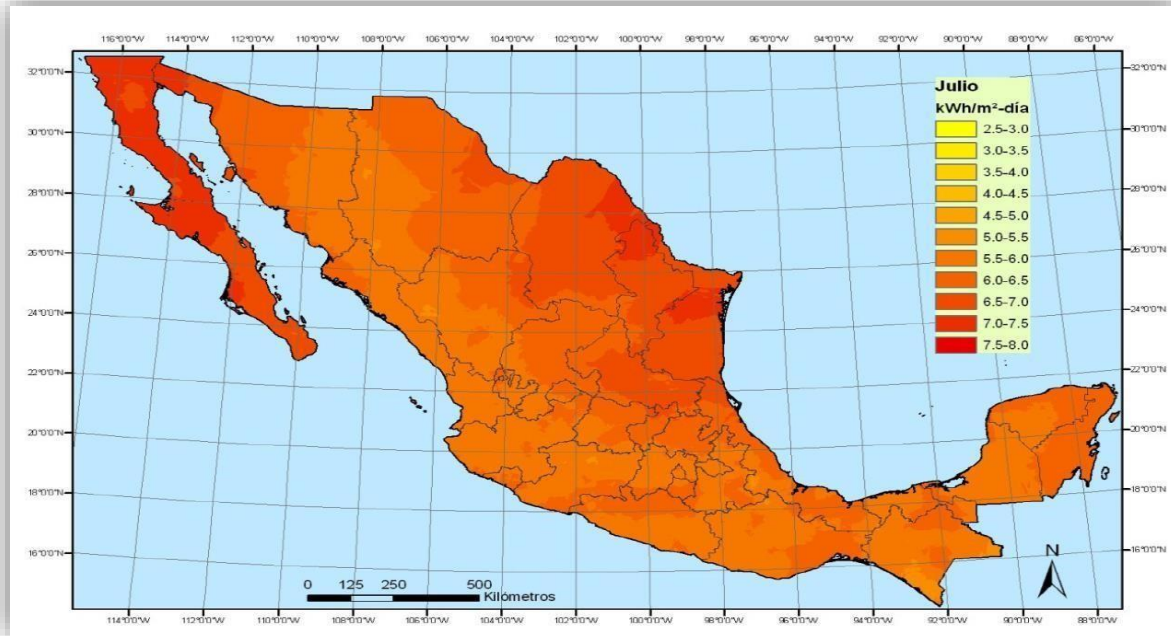
[https://www.researchgate.net/profile/Luis-Gabriel-Gomez-](https://www.researchgate.net/profile/Luis-Gabriel-Gomez-Azpeitia/publication/312576876_Prontuario_Solar_de_Mexico/links/58823f144585150dde401d19/Prontuario-Solar-de-Mexico.pdf)

[Azpeitia/publication/312576876\\_Prontuario\\_Solar\\_de\\_Mexico/links/58823f144585150dde401d19/Prontuario-Solar-de-Mexico.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Luis-Gabriel-Gomez-Azpeitia/publication/312576876_Prontuario_Solar_de_Mexico/links/58823f144585150dde401d19/Prontuario-Solar-de-Mexico.pdf)

Observando la figura 6 nos podemos dar cuenta que la irradiación global-diaria promedio en la temporada de invierno es menor en todo el Estado de Baja California que el resto del país, en consecuencia, será menor para la zona de Mexicali contra el resto del país.

Ahora compararemos la irradiación solar en meses de verano, tomando como base el mes de julio, esta información fue tomada de igual manera del “Prontuario Solar de México”, Adalberto Tejada Martínez y Gabriel Gómez-Azpeitia (2015, p.53).

Figura 7. Irradiación global de julio (kWh / m<sup>2</sup> \_ día).



Fuente. Adalberto Tejada Martínez y Gabriel Gómez-Azpeitia (2015). Prontuario Solar de México.  
[https://www.researchgate.net/profile/Luis-Gabriel-Gomez-Azpeitia/publication/312576876\\_Prontuario\\_Solar\\_de\\_Mexico/links/58823f144585150dde401d19/Prontuario-Solar-de-Mexico.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Luis-Gabriel-Gomez-Azpeitia/publication/312576876_Prontuario_Solar_de_Mexico/links/58823f144585150dde401d19/Prontuario-Solar-de-Mexico.pdf)

Como se puede observar en la figura 7, la irradiancia global-diaria promedio en la temporada de verano es por mucho, de mayor magnitud en el Estado de Baja California y específicamente en la zona de Mexicali, lo podemos apreciar por el color en que se encuentra esta zona.

Ahora podemos analizar el mismo concepto de una manera anual, según el “Prontuario Solar de México”, Adalberto Tejada Martínez y Gabriel Gómez-Azpeitia (2015, p.55), su comportamiento se representa en la figura 7.

Figura 8. Irradiación global anual (kWh / m<sup>2</sup> \_ día).



Fuente. Adalberto Tejada Martínez y Gabriel Gómez-Azpeitia (2015). Prontuario Solar de México. [https://www.researchgate.net/profile/Luis-Gabriel-Gomez-Azpeitia/publication/312576876\\_Prontuario\\_Solar\\_de\\_Mexico/links/58823f144585150dde401d19/Prontuario-Solar-de-Mexico.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Luis-Gabriel-Gomez-Azpeitia/publication/312576876_Prontuario_Solar_de_Mexico/links/58823f144585150dde401d19/Prontuario-Solar-de-Mexico.pdf)

Podemos observar en la figura 8, que el Estado de Baja California esta dentro de las zonas con mayor irradiancia global-diaria promediada durante el año. Esto por el color que representa en la figura.

Con la información anterior podemos determinar que, aunque la irradiancia global-diaria promedio en la temporada de invierno es menor que la del resto del país, es insignificante contra la cantidad de irradiancia global-diaria promedio que es mayor la zona de Mexicali en la temporada de verano con el resto del país, alcanzando los 8  $\text{kWh}$ . Hay que mencionar que, en la zona de Mexicali, en

$\text{m}^2$

la temporada de verano, es cuando se consume más energía, esto debido al uso prolongado de aires acondicionados, por lo tanto, es un buen indicio que en esta temporada se tenga una irradiancia global-diaria superior al promedio, traduciéndolo como un alto recurso solar.

Sistemas Fotovoltaicos.

Para fines prácticos de esta investigación, se seleccionaron 4 componentes que conforman lo que es un sistema fotovoltaico. En primer lugar, se encuentra lo que son los paneles solares o módulos fotovoltaicos, estos pueden ser de dos tipos, monocristalino (figura 9) o policristalino (figura 10), en la actualidad es más común observar los de tipo monocristalino en el mercado. Los paneles solares están fabricados con celdas de silicio, las cuales conectadas entre sí generan energía eléctrica por medio de una reacción química provocada por la radiación solar. Dentro del mercado podemos encontrar diferentes marcas de paneles solares, pero todos funcionan con el mismo principio, también podemos encontrar de diferentes potencias, actualmente se pueden encontrar paneles solares que superan los 600 watts de potencia. La tendencia de este tipo de tecnología es que la potencia va aumentando mientras que su tamaño se mantiene o aumenta mínimamente. El tamaño promedio se puede encontrar de 1.10 metros de ancho por 2.20 metros de largo.

Figura 9. Panel Solar tipo Policristalino.

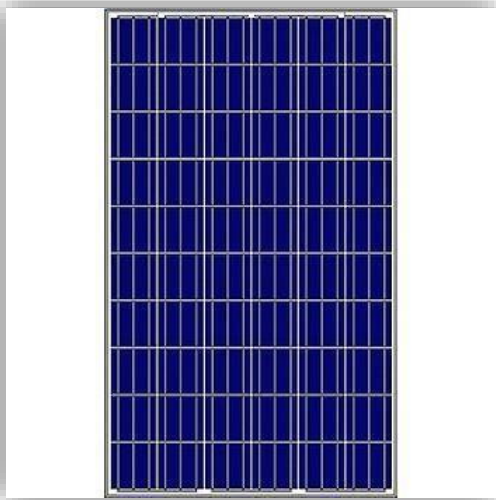
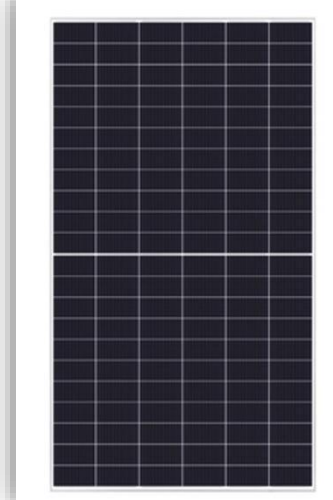


Figura 10. Panel Solar tipo Monocristalino.



(2023). Generación Eléctrica: Celdas Policristalinas. Fuente. Venta Depot  
Titan. <https://novusred.mx/sin-https://ventdepot.mx/pages/generacion-electrica-celdas-solares-policristalinas-monocristalino-144-celdas-perc-dim-2384-x-1303-x-35-mm-217338.html> clasificacion/26579-modulo-solar-titan-660-w-50-vcc-

El segundo componente de un sistema fotovoltaico es la estructura de soporte, es la estructura que sostiene al panel solar a cierta inclinación y cierta ubicación, también ayuda a que el panel quede siempre firme y sujeto a la superficie, con el fin de evitar que este se mueva, en caso de que se presenten vientos de gran magnitud en la zona. La estructura de soporte debe ser hecha con

aluminio, esto es porque el marco de los paneles solares este hecho de este material, por lo tanto así evitas corrosión por juntar dos metales diferentes. La estructura representa un gran porcentaje en la inversión de esta tecnología por lo tanto se considera como uno de los principales componentes.

Figura 11. Estructura de soporte.



Fuente. Siflumsa (2023). Estructuras para Paneles Solares Ventox.  
<https://siflumsa.com/producto/estructuras-para-paneles-solares-ventox-2/>

El inversor solar es el tercer elemento de los sistemas fotovoltaicos, al igual que los paneles solares, los inversores son de diferentes marcas y de diferentes potencias. La función del inversor es convertir la energía eléctrica generada por los paneles solares en corriente directa a energía en corriente alterna. Estos inversores aparte de estar conectados a los paneles solares en la entrada, en la parte de la salida están conectados a lo que es el centro de carga principal del inmueble por medio de un interruptor termomagnético, esto es para inyectar la energía generada y ya transformada al inmueble.

Figura 12. Inversor Solis 3.6 kW.



Fuente. Elaboración propia.

El cuarto componente de los sistemas fotovoltaicos abarca de manera general a lo que es el material eléctrico. Dentro del material eléctrico se tomó en cuenta cableado tipo fotovoltaico, terminales MC4, tubería metálica, protecciones eléctricas y accesorios para canalización. Todo el material eléctrico representa un porcentaje importante en la instalación de un sistema fotovoltaico, por esta razón se considera como un componente.

Comisión Federal de Electricidad.

En la zona de Mexicali, Baja California la institución encargada del suministro y cobro de energía eléctrica es la Comisión Federal de Electricidad (CFE). Según el portal de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) se provee energía eléctrica a un total de 46 millones de clientes en el país de México y cada año incorpora un millón de nuevos usuarios. Se cuenta con un nivel de electrificación del 98.95% en los habitantes. En el 2020 se registraron 1,528 obras de electrificación rural; mientras que en 2021 fueron 3,466. El parque de generación de CFE está conformado por 158 centrales de generación de distintas tecnologías: ciclo combinado, termoeléctrica, hidroeléctrica, carboeléctrica, turbogás, combustión interna, nucleoelectrica (Central Nuclear de Laguna Verde), geotermoeléctrica, eoloelectrica y solar fotovoltaica (CFE,2023).

Figura 13. Logo de Comisión Federal de Electricidad.



Fuente. El logotipo actual de la es:Comisión Federal de Electricidad (CFE) (12 de marzo de 2021). En Wikipedia.  
[https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Comisi%C3%B3n\\_Federal\\_de\\_Electricidad\\_%28logo%29\\_.svg](https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Comisi%C3%B3n_Federal_de_Electricidad_%28logo%29_.svg)

La Comisión Federal Electricidad (CFE) define tarifas eléctricas, las cuales asignan un costo de kilowatt-hora (kWh). Las tarifas se determinan dependiendo de las condiciones climáticas de la zona, en este caso, a la ciudad de Mexicali le corresponde la tarifa 1F, la cual, cuenta con 3 de niveles de costo por kWh en la temporada de invierno y 4 niveles en la temporada de verano. En la temporada de verano, en la zona de Mexicali existe un apoyo económico gubernamental (subsidio), el cual te resta cierto porcentaje de tu consumo total de energía, dependiendo la cantidad que se haya consumido (entre mayor sea el consumo de energía menor será el porcentaje de apoyo gubernamental). Este subsidio se ve reflejado en la factura mensual de energía.

### **Antecedentes.**

Los sistemas fotovoltaicos, llevan este nombre ya que consiste en transformar la radiación solar captada por los paneles solares y transformarla en energía eléctrica mediante el efecto fotovoltaico.

Tiempo atrás en 1839 el físico francés Alexandre Edmond Becquerel, descubre el efecto fotovoltaico, al experimentar con una pila electrolítica con electrodos de platino, en la que observó el incremento de corriente que causa el exponer a la luz uno de los electrodos.

Figura 14. Alexandre-Edmond Becquerel.

Fuente.  
diciembre de



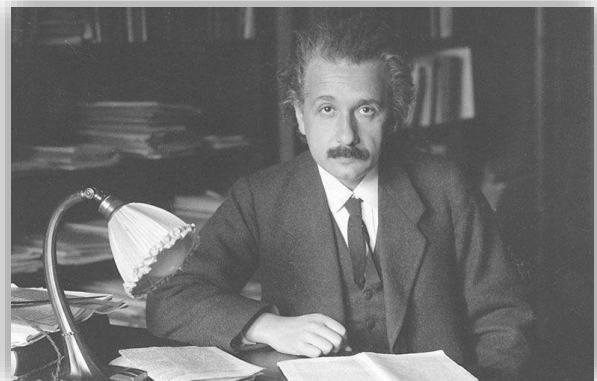
Alexandre-Edmond Becquerel (27 de 2023). En Wikipedia.  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Alexandre-Edmond\\_Becquerel](https://es.wikipedia.org/wiki/Alexandre-Edmond_Becquerel)

En el año 1870 el profesor William Grylls Adams, junto con un estudiante suyo experimentan sobre el efecto de la radiación solar sobre el Selenio, comprobando que se crea un flujo de electricidad, este suceso en camino a la investigación del físico Albert Einstein, en donde en 1920 explica el efecto fotovoltaico, explicando que los electrones absorben cuantos de energía de la radiación solar (fotones) de una forma linealmente proporcional a la frecuencia de la fuente lumínica. Esta explicación hizo que recibiera el Premio Nobel de Física en 1921.

Figura 15. William Grylls Adams.



Figura 16. Albert Einstein.



Fuente. Albert Einstein en la universidad de Berlín en 1920 (noviembre,2019)

La Vanguardia

<https://contemporanea/20190307/47312124048/el/www.lavanguardia.com/historiayvida/histori-sueno->

[de-albert- a- einstein.html#foto-1](https://en.wikipedia.org/wiki/William_Grylls_Adams)

Fuente. William Grylls Adamas (15 de diciembre de 2022). En Wikipedia.  
[https://en.wikipedia.org/wiki/William\\_Grylls\\_Adams](https://en.wikipedia.org/wiki/William_Grylls_Adams)

En 1954 los Laboratorios Bell, el físico Daryl Chapin descubrió que el Silicio era un componente más eficiente para la conducción de electricidad que el Selenio, pudiendo desarrollar una celda de silicio con un 6% de eficiencia.

Figura 17. Daryl Chapin.



Fuente. Daryl Muscott Chapin (20 de agosto de [https://en.wikipedia.org/wiki/Daryl\\_Chapin](https://en.wikipedia.org/wiki/Daryl_Chapin).

2023). En Wikipedia.

Aunque hubo intentos por comercializar la de celda de silicio, su primer campo de aplicación fue en el espacio, por parte del gobierno de los Estados Unidos de Norte América con la construcción y lanzamiento de un satélite artificial en la operación secreta denominada “Lunch Box”, en donde el satélite era energizado por celdas solares.

Fue hasta 1973 investigadores de la empresa Esso, cuando anuncia su filial Solar Power Corporation, al empezar a comercializar módulos fotovoltaicos, cuando pudieron reducir los costos de fabricación a 10 dólares sobre vatio, vendiéndolo a 20 dólares sobre vatio. Los primeros mercados masivos de los módulos fotovoltaicos fueron para aplicaciones aisladas a la red eléctrica, como señalizaciones marítimas, señalizaciones ferroviarias y antenas de comunicación.

### **Preguntas de investigación.**

- . ¿Se reducirá el costo de la factura de energía en los ciudadanos de Mexicali?
  
- . La inversión en sistemas fotovoltaicos en la zona de Mexicali, ¿Es rentable para los ciudadanos de la zona?

. ¿Será posible aplicar esta inversión en cualquier situación (hogar con red eléctrica)?

### **Objetivos.**

- . Reducir costos en la factura de energía de los ciudadanos de Mexicali, Baja California.
- . Analizar la rentabilidad de realizar una inversión en sistemas fotovoltaicos en la zona de Mexicali para la reducción de costos en la factura de energía.

### **Hipótesis.**

La inversión en sistemas fotovoltaicos en la zona de Mexicali en la mayoría de los casos será rentable, esto quiere decir que se tendrá un retorno de inversión dentro de los 5 a 7 años, esto debido al gran recurso solar de la ubicación geográfica y el alto consumo de energía de los habitantes de la zona.

### **Planteamiento del problema.**

En la zona de Mexicali, Baja California, se observa que el consumo de energía en hogares y negocios es demasiado alto en la temporada de verano, esto principalmente debido a que se utilizan los equipos de aire acondicionado por un periodo largo. Como consecuencia, los ciudadanos de esta zona tienen que pagar altos costos en su recibo de energía mensual. En algunas ocasiones les es imposible pagar los montos de estos recibos o provoca inestabilidad económica dentro de las familias. Para la gran mayoría de los negocios de esta zona, la factura de energía se encuentra dentro de los principales costos y muchas veces se convierte en un desafío tener rentabilidad en esta temporada.

Como consecuencia de los altos consumos de energía se puede añadir otra problemática, la cual es la falta de generación de energía por parte de la Comisión Federal de Electricidad (único organismo que se encarga de la generación de energía de la región). El consumo de energía de la zona llega a superar la capacidad de generación en ciertos meses en verano, esto se debe al crecimiento que ha tenido la zona los últimos años, ampliándose las zonas residenciales y nuevas empresas que llegan a esta zona a instalarse. Esto provoca que algunas colonias se queden sin energía eléctrica, en ocasiones por un periodo de tiempo prolongado, este suceso es conocido coloquialmente como “apagones”. La gran demanda de energía de la ciudad también provoca el daño a equipos fundamentales para el suministro de energía eléctrica, como son los transformadores de voltaje,

estos suelen dañarse o incluso explotar, haciendo que sea mayor el tiempo de reparación para volver a suministrar energía a los hogares o negocios.

Existen otros factores por lo que pueden provocarse estos apagones, uno de ellos es que el municipio de Mexicali se encuentra dentro de una zona catalogada como sísmica. “Mexicali se encuentra en la región norte de Baja California que es caracterizada por un sistema de fallas que puede generar actividad sísmica con magnitud por arriba de 6 en la escala de Richter” (Red Sismológica del CICESE, 2018, p.4). Podemos observar en la figura 18 que son 13 las fallas de riesgo para esta zona.

Figura 18. Fallas de Riesgo en Baja California.



Fuente. Mariela Tapia (16 de abril de 2018).La Voz de la Frontera.  
<https://www.lavozdelafrontera.com.mx/local/13-fallas-geologicas-de-riesgo-en-mexicali-1616890.html>

“Mexicali es una de las ciudades con más alto riesgo sísmico de México debido a que sus asentamientos humanos se ubican muy cercanas a trece fallas geológicas” (Mariela Tapia, 2018, Periódico la Voz de La Frontera). Esto es un problema que puede provocar estos apagones, por ejemplo en el año 2010 en el mes de abril la zona de Mexicali presentó un movimiento telúrico de 7.2 en la escala de Richter, lo que hizo que toda la zona se quedara sin energía eléctrica por más de 24 horas en unas colonias, afectando la comunicación y electrodomésticos como los refrigeradores que guardaban comida. También al presentarse en temporada de verano los

ciudadanos de la zona no pudieron utilizar sus aires acondicionados, lo que puede ser de riesgo en ciertos casos por las temperaturas extremas.

Otro factor que se puede tomar en cuenta, son las altas temperaturas de esta zona, en los últimos años la temperatura ha tenido una tendencia a aumentar, lo que provoca que los equipos de generación de energía de CFE no funcionen con su mejor eficiencia e incluso provocan fallas que detienen la inyección de energía en el sistema eléctrico. Podemos relacionar este suceso con el cambio climático, el cual se puede definir como los cambios a largo plazo en los patrones climáticos globales. Se le atribuye mayor parte de este fenómeno a la actividad humana, un ejemplo de ello puede ser la quema de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas) para la generación de energía, la industria y el transporte, esto hace que aumente la concentración de gases de efecto invernadero (GEI). Los principales GEI son el dióxido de carbono, metano, óxidos de nitrógeno y fluorocarbonos, estos gases retienen el calor en la atmósfera, creando un efecto invernadero aumentando la temperatura de la Tierra.

Aparte del aumento de temperaturas, el cambio de patrones climáticos, también ha provocado que las lluvias y tormentas eléctricas lleguen con mayor frecuencia e intensidad a la zona de Mexicali, lugar donde se ha presentado anteriormente no son comunes las precipitaciones. Estos fenómenos naturales también provocan el daño a equipos de inyección de energía a los hogares y en algunos casos se presentan las caídas de los postes que sostienen estos equipos, lo que llega a provocar que ciudadanos se queden sin energía eléctrica por días.

Sabemos que combatir el cambio climático en la zona no es sencillo, es necesario que se tomen acciones de manera global por parte de gobiernos y las grandes industrias, sin embargo, si es un factor a considerar por las afectaciones que sus efectos causa a la zona.

### **Justificación.**

La instalación de un sistema fotovoltaico en un inmueble dentro de esta zona puede traer múltiples beneficios. Primero, con la función de los paneles solares de generar energía eléctrica hace que el inmueble donde están instalados, que solo consume cierto porcentaje de energía de la generada por Comisión Federal de Electricidad, y por consecuencia reducir el costo en la factura de energía mensual gracias al ahorro de energía.

Otro beneficio es que, con la instalación de un sistema fotovoltaico en cualquier inmueble, este aumenta su valor en el mercado. Esto se puede ver como una ventaja financiera y ambiental, lo que hace que se este dispuesto a pagar más por el lugar.

El beneficio ambiental es por la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, como se vio anteriormente los GEI son provocados por la actividad humana y una de ellas es la generación de energía a través de combustibles fósiles por lo tanto gracias a que los paneles solares generan energía a través de la radiación solar, que es una fuente renovable no contaminante, esto se ve reflejado como una acción de gran impacto ambiental para esta zona.

La instalación de sistemas fotovoltaicos también puede solucionar los problemas que han tenido los ciudadanos de la zona, que son los apagones derivados de los distintos factores ya mencionados. Esto se puede solucionar añadiendo baterías al sistema, se les conoce como sistemas fotovoltaicos híbridos, los cuales es el mismo funcionamiento que un sistema fotovoltaico convencional solo que el inversor está conectado con baterías, lo que hace que cuando no haya energía eléctrica en el inmueble derivado de estos apagones, las baterías empiezan inyectar energía al lugar.

Figura 19. Baterías para sistemas fotovoltaicos.



Fuente. Baterías Energía Solar ( - ). Royal America.  
<https://royalamerica.com/cl/solar/bateriascl>

Existen diferentes tipos de baterías que se pueden adaptar a los inversores, pero estas baterías no se pueden conectar a cualquier inversor, tiene que ser uno de tipo híbrido, que su costo es mucho más elevado que el tipo normal. Las baterías también tienen un costo que puede ir desde 250 a 500 dólares cada una, y el número de baterías es definido por la necesidad del cliente, o sea cuantas horas de respaldo tendrá con la potencia de las baterías. Se considera una inversión costosa y que no será apta en este momento para cualquier ciudadano, sin embargo, la tendencia en los costos de

esta tecnología es que disminuye cada vez más, por lo tanto, se proyecta que esta solución se presentará cada vez en los hogares de la zona.

### **Marco Teórico.**

Sustentabilidad ambiental.

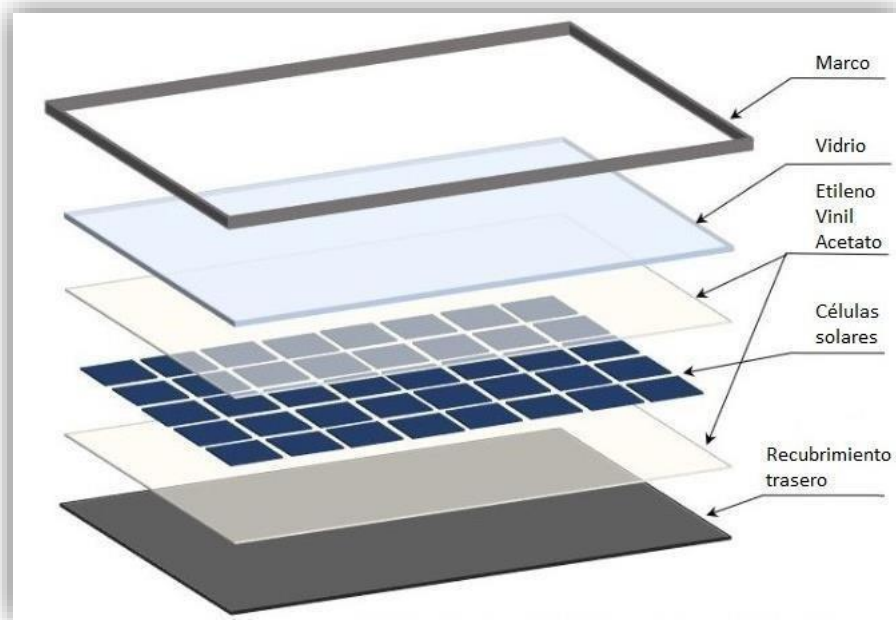
La parte más importante de los sistemas fotovoltaicos son los paneles solares, al generar electricidad por medio de la radiación solar, no emiten gases de efecto invernadero, y se consideraran una de las tecnologías renovables más eficientes en la lucha contra el cambio climático. Al funcionar con la radiación del Sol, podemos decir que es infinita ya que está disponible en todo el mundo y se adapta a ciclos naturales del día. Los paneles solares no emiten sustancias toxicas ni contaminantes al aire, tampoco generan residuos, ni contaminación del agua, factores de suma importancia teniendo en cuenta que la calidad del aire en la zona de Mexicali ya se considera dañina para la salud en la mayor parte del año y el agua es un elemento vital para los seres humanos, que cada vez observamos como se va reduciendo la cantidad de agua potable en el mundo.

Medidas de sustentabilidad.

Existen ciertas medidas que se consideran para el futuro de estas inversiones, las instalaciones de sistemas fotovoltaicos. Hablando específicamente de los paneles solares, la huella de carbono puede variar según varios factores, como los materiales utilizados, la tecnología o equipo para su fabricación y el proceso de fabricación de la planta. Otro factor que puede ser de relevancia para la huella de carbono es la ubicación de la fábrica, ya que puede afectar a ciertas zonas protegidas o naturales cerca de ella.

En el proceso de producción de material clave para los paneles solares, como el silicio, aluminio, vidrio y materiales conductores, implican procesos energéticamente intensivos que puede producir gases de efecto invernadero. Al igual que el proceso que producción de las celdas, así como la unión de componentes también pueden tener el mismo efecto del proceso anterior.

Figura 20. Componentes de paneles solares.



Fuente. Los

paneles solares vidrio-vidrio hechos en Europa, un 40% menos intensivos en CO2 que los chinos (2021). Energías Renovables, el periodismo de las energías limpias. <https://www.energias-renovables.com/fotovoltaica/los-paneles-solares-vidriovidrio-made-in-europe-20210923>

El transporte de las materias primas y componente, así como el proceso de envío de los paneles solares terminados a su destino final, también es un factor que contribuye a la huella de carbono. La durabilidad y vida útil es una característica de gran importancia ya que, si los paneles solares duran más tiempo, se requieren menos para su reemplazo. Al igual que el fabricar paneles cada vez más eficiente generan más energía eléctrica por pieza, lo que al igual hace que se requieran menos para cierta potencia deseada.

Al mencionar todos estos factores podemos observar que la huella de carbono puede variar, dependiendo el tipo de panel solar que se fabrique, así como a tecnología que se utilice para a hacerlo. Así como los procesos que se utilicen para extracción de materia prima y el proceso de transportación del producto final. También se considera el tipo de combustible que utiliza la fábrica en sus diferentes procesos. De manera general según el estudio publicado en la revista “Nature Communications” la huella de carbono de los paneles solares de silicio, que es la tecnología más

común, se estimó entre 20 a 50 gramos de CO<sub>2</sub> equivalente por kilowatt-hora de electricidad generado durante su vida útil (2017).

Figura 21. Generación de energía a través de una granja solar.



Fuente. ¿Qué es una planta solar a gran escala? (2023). Energon Solar.  
<https://energonsolar.mx/paneles-solares-comercial-industrial/parques-fotovoltaicos-gran-escala>

En la actualidad, se han realizado estudios para disminuir esta huella de carbono, según Fraunhofer ISE ha evaluado la huella de carbono de seis módulos solares de silicio monocristalino.

“El instituto ha investigado módulos fabricados en China, Alemania y la Unión Europea, así como un módulo de lámina de vidrio con marco de aluminio y otro vidrio-vidrio, sin marco de aluminio. Y la conclusión es que los módulos fabricados en la Unión Europea emiten un 40% menos CO<sub>2</sub> que los producidos en China. Según el Instituto, esto es debido, fundamentalmente, al mix eléctrico de cada país y, en menor medida, a las emisiones producidas durante su transporte. Así, entre el cincuenta y el 63% del total de las emisiones que podemos asociar al panel solar son originadas durante la fabricación del mismo, lo que sitúa esa fase como la más influyente en lo que respecta a su huella de CO<sub>2</sub>. El estudio

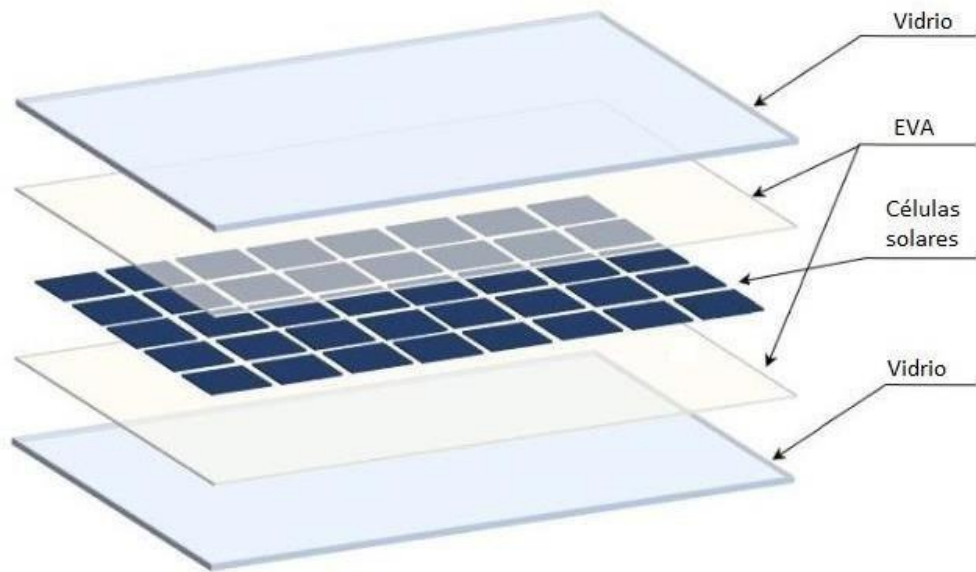
publicado por Fraunhofer ISE estima por otro lado que apenas un tres por ciento de las emisiones asociadas a un panel chino podemos imputárselas al transporte China-UE.

En ese sentido, el profesor Andreas Bett, director del Fraunhofer ISE, considera ahora mismo un asunto crucial el fijar la cadena de producción fotovoltaica en Europa rápidamente, y con un elevado grado de compromiso ambiental. Por dos motivos: las emisiones significativamente menores de CO<sub>2</sub> asociadas a la fase de producción (-40% con respecto a la producción en China) y el fuerte crecimiento en todo el mundo de la demanda de paneles solares climate-friendly, que podríamos traducir por mínimo impacto climático” (Energías Renovables. El periodismo de las energías limpias. 2021).

También se pudo comparar otro hallazgo el cual es el módulo de aluminio contra un de vidrio, según el mismo estudio de ISE se refiere a esta comparación:

“Según el Instituto, la fabricación de los módulos vidrio-vidrio causa entre un 7,5 y un 12,5% menos emisiones de CO<sub>2</sub> que la fabricación de módulos de lámina de vidrio con marco de aluminio. El estudio -explican en Fraunhofer- ha arrojado este resultado en todos los módulos examinados, independientemente del lugar de fabricación. Según el instituto alemán, la razón de esta diferencia radica en el hecho de que los módulos vidrio-vidrio no requieren de marco de aluminio, material cuya producción requiere de gran cantidad de energía (el aluminio es muy intensivo energéticamente).” (Energías Renovables. El periodismo de las energías limpias. 2021).

Figura 22. Componentes de paneles solares vidrio.



Fuente. Los paneles solares vidrio-vidrio hechos en Europa, un 40% menos intensivos en CO2 que los chinos (2021). Energías Renovables, el periodismo de las energías limpias. <https://www.energias-renovables.com/fotovoltaica/los-paneles-solares-vidriovidrio-made-in-europe-20210923>

Ahora, si comparamos la huella de carbono de la generación de electricidad a partir de gas natural, que es la considerada menos intensiva que comparada con la generación de energía a partir de petróleo. La huella de carbono puede oscilar entre 400 a 600 gramos de CO2 equivalente por kilowatt-hora, esto debido a que la combustión del gas natural produce menos dióxido de carbono (CO2) por unidad de energía generada. Sabes todos los factores que determinan la huella de carbono por lo tanto que esta puede variar dependiendo de la planta, tecnología utilizada, etc.

Figura 23. Planta de generación de energía por combustión de gas.



Fuente. Generación de energía por combustión de gas. (2023). SULZER. <https://www.sulzer.com/es-es/spain/applications/power-generation/fossil/gas-fired-power-generation>

También es importante señalar que aparte de CO<sub>2</sub> el gas natural también puede producir otros contaminantes atmosféricos, como óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), estos contaminantes pueden tener impacto en la calidad del aire y en la salud humana.

Tenemos que tomar en cuenta que la tendencia de la fabricación de paneles solares va al alza, por lo tanto, deberán existir medidas de reciclaje de paneles solares, esto quiere decir reutilizar la mayor cantidad de componentes posibles. Actualmente solo Estados Unidos de Norte América, Alemania, Francia y Japón tienen estas políticas de reciclaje de paneles solares.

Algunas otras medidas que se tendrán que ir adaptando a cada país aparte del reciclaje de paneles solares, es que, con el avance de la tecnología estos, sean más eficientes, esto hará que con menos paneles solares generará más energía. Otra medida importante es prolongar la vida de las instalaciones fotovoltaicas, esto retrasará drásticamente la acumulación de residuos.

## **Metodología.**

## Costo de energía eléctrica.

Primero se investigó como se calcula el cobro de energía de la zona delimitada, esto para determinar el comportamiento de los costos en la factura mensual de energía en relación con el consumo de energía del inmueble. Por esta razón es primordial conocer las tarifas de cobro.

Para este análisis se utilizó el acervo histórico de tarifas en la zona de Mexicali, Baja California, en el cual observamos que para esta zona le corresponde la Tarifa 1F, segmentada por parte de la Comisión Federal de Electricidad, se tomaron en cuenta las tarifas del año 2022.

A continuación, se muestran las tablas con el costo por kilowatt- hora durante el año.

Tabla 1. Costo de kilowatt-hora en temporada de invierno.

2022	75 kWh	125 kWh	-
Enero	0.882	1.073	3.134
Febrero	0.887	1.079	3.153
Marzo	0.892	1.085	3.172
Abril	0.897	1.091	3.191
Noviembre	0.933	1.139	3.326
Diciembre	0.939	1.146	3.346

Fuente: Elaboración propia con base en datos de CFE (2023).

Tabla 2. Costo de kilowatt-hora en temporada de verano.

2022	300 kWh	900 kWh	1,300 kWh	-
Mayo	0.669	0.835	2.032	3.21
Junio	0.673	0.84	2.044	3.229
Julio	0.677	0.845	2.056	3.248
Agosto	0.681	0.85	2.068	3.267
Septiembre	0.685	0.855	2.08	3.286
Octubre	0.689	0.86	2.092	3.306

Fuente: Elaboración propia con base en datos de CFE (2023).

Las tablas 1 y 2 contienen el costo en pesos mexicanos por cada kilowatt-hora consumido; la factura de energía mensual te muestra cuantos kilowatts-hora consumió el inmueble donde está contratado el recibo de energía. Como se muestra en las tablas, los costos están divididas por niveles, en los cuales dependiendo del consumo que haya tenido el inmueble será el costo correspondiente a cada kilowatt-hora, por ejemplo, en la tabla 1, en el mes de enero de 2022 los primeros 75 kWh consumidos serán cobrados a 0.882 pesos mexicanos cada uno, una vez

superando los 75 kWh, los siguientes 125 kWh consumidos serán cobrados a 1.073 pesos mexicanos cada uno y una vez superando el consumo de 300 kWh, cada kilowatt-hora será cobrado a 3.134 pesos mexicanos.

En la tabla 2, sería el mismo método, solo que en esta ocasión los consumos de energía se dividen en 4 niveles, esto se debe a que en la temporada de verano los ciudadanos consumen más energía que en la temporada de invierno.

En esta misma temporada se encuentra lo que es un apoyo gubernamental (subsidio), el cual consiste en descontar un porcentaje del cobre de energía siempre y cuando el usuario no supere los 2500 kWh de consumo mensual. A continuación, se muestran los porcentajes de apoyo:

Tabla 3. Porcentaje de apoyo gubernamental aproximado.

kWh	Porcentaje aproximado.
25 - 500	48%
501 - 1,100	44%
1101 - 1,800	40%
1,801 - 2,500	36%

Fuente: Elaboración propia con base en datos de CFE (2023).

La tabla 3, muestra el porcentaje aproximado de apoyo, por ejemplo, si tu consumo mensual dentro de la temporada de verano fue por debajo de los 500 kWh, se apoyará con el 48% aproximadamente del costo de la factura. Si el consumo mensual supera los 2,500 kWh, el subsidio no se aplicará y se tendrá que pagar la totalidad la factura.

#### Costo de instalación.

El costo de instalación del sistema fotovoltaico es uno de los factores más importantes a tomar en cuenta para la evaluación. Para esto se dividió los costos entre los principales componentes de un sistema fotovoltaico incluyendo la mano, el costo de cada componente se mide por dólares por kilowatt instalado, esto quiere decir la cifra que asignada se multiplicara por la capacidad instalada del sistema fotovoltaico (kWp). La capacidad instalada se asigna dependiendo de las necesidades energéticas, y se determina por la cantidad de paneles solares multiplicado por la potencia de estos. Alrededor de dos paneles solares instalados es 1 kilowatt instalado.

Tabla 4. Costo de material y equipo por kilowatt instalado.

Concepto	Dlls / kWp
<b>Paneles Solares</b>	267
<b>Estructura Solar</b>	60
<b>Inversor Solar</b>	196
<b>Material Eléctrico</b>	55
<b>Instalación de SFV</b>	-

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 5 muestra el costo promedio de cada componente, el cual puede variar dependiendo del contratista, proveedores, y gama de productos. Para esta evaluación se utilizaron productos de gama alta, ya que estos te ofrecen las garantías más altas. En el componente de Instalación de SFV hace referencia a la “mano de obra”, esta depende mucho de la empresa que los instale, pero en su mayoría es un porcentaje del costo total del material necesario para instalación (50 – 40%). En este caso se utilizaron los porcentajes de mano de obra de la empresa Futura Energy, empresa que se dedica a ofrecer el servicio de instalación de sistemas fotovoltaicos en el Estado de Baja California.

Generación de energía.

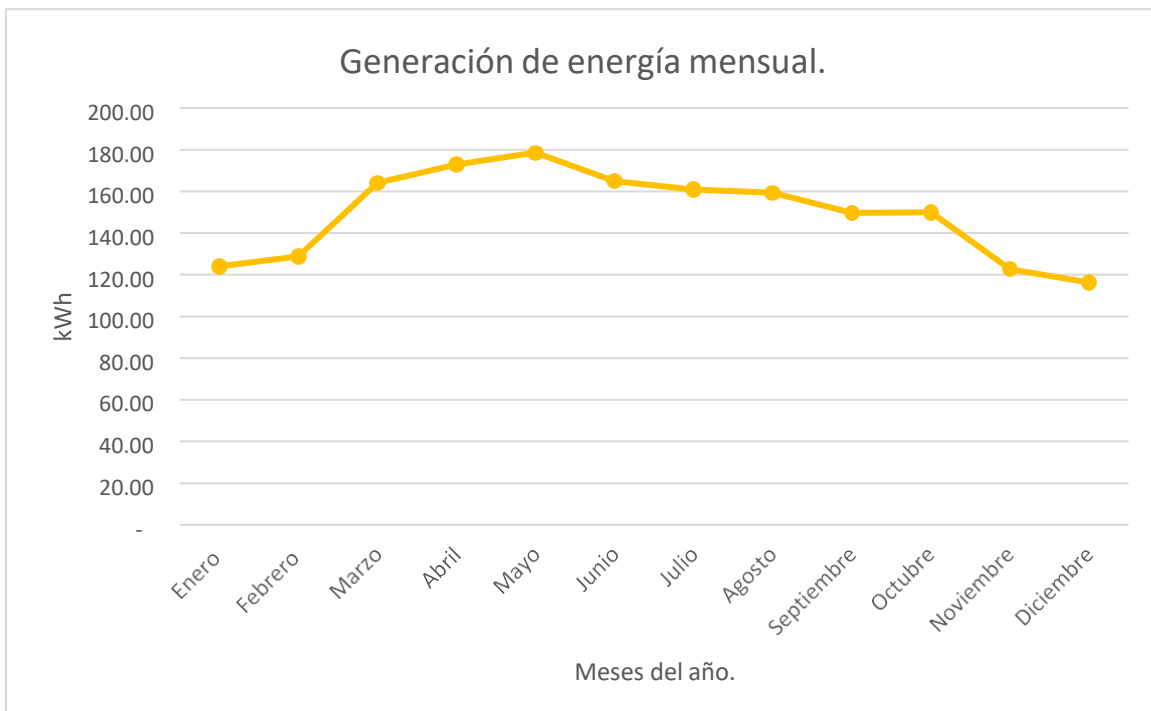
La generación de energía en la zona de Mexicali por medio de sistemas fotovoltaicos varía según la temporada del año. El promedio de la generación de energía mensual en la temporada invierno es de 138.10 kilowatt-hora sobre kilowatt instalado(  $\frac{kWh}{kWp}$ ), mientras que en la temporada de

verano el promedio de generación de energía mensual aumenta a 160.53 kilowatt-hora sobre kilowatt instalado (  $\frac{kWh}{kWp}$  ).

$\frac{kWh}{kWp}$

Según System Advisor Model (SAM) la generación de energía mensual de un kilowatt se comporta de la siguiente manera:

Figura 24. Comportamiento de generación de energía mensual.



Fuente: Elaboración propia con base en datos de SAM (2023).

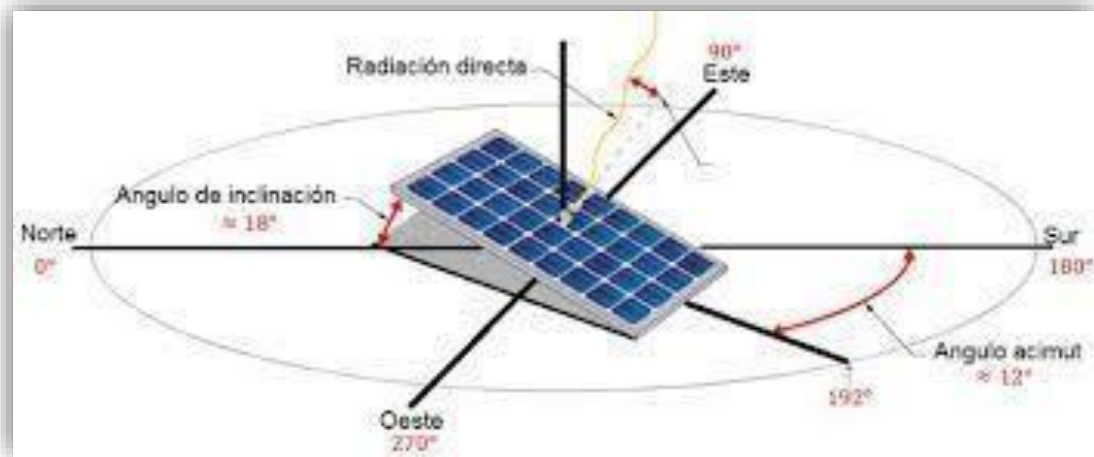
En la figura 24 podemos observar cómo se comporta la generación mensual de energía en la zona de Mexicali durante el año. La generación de energía de los sistemas fotovoltaicos, dependen de la forma en que sean instalados, los factores principales es la inclinación y el acimut.

Matemáticamente la forma de instalación ideal para obtener la mayor generación de energía posible es colocar los paneles solares con una inclinación igual que la latitud del lugar, en este caso la latitud de la zona de Mexicali es de 32 grados Norte, pero en la práctica sabemos que hacer esto es de sumo riesgo ya que colocar una estructura que soporte al panel solar en esta inclinación es muy alta dificultad. Por lo tanto, lo ideal es colocarla a la mitad de la latitud ya que, con esta inclinación, las matemáticas nos dicen que la generación en la temporada de verano será mayor. Por lo tanto, para fines prácticos de esta investigación se calculó la generación de energía con una inclinación de los paneles solares de 20 grados.

También se tomó en cuenta lo que es el acimut, esto quiere decir la dirección a la que estará viendo el panel solar, lo ideal, para obtener el mayor beneficio posible es colocar el panel solar a 180 grados de acimut, lo que quiere decir que este, va estar viendo al Sur. Esto es porque la zona de Mexicali se encuentra en el hemisferio norte, por lo tanto, al colocar los paneles viendo al Sur,

estos captan más hora de radiación solar. En esta investigación se tomó como referencia utilizar un acimut de 180 grados.

Figura 25. Ángulos Solares.



Fuente: Ángulos Solares y su importancia para el diseño de Sistemas Fotovoltaicos (2023). Sector Electricidad. <https://www.sectorelectricidad.com/36130/angulos-solares-y-su-importancia-para-el-diseno-de-sistemas-fotovoltaicos/>

Consumo de energía de Mexicali.

Para el caso de esta investigación se utilizó una muestra de 10 recibos de energía. Estos 10 recibos están distribuidos en toda la zona de Mexicali, siendo todos residencias de 10 ciudadanos, también se tomaron en cuenta que los recibos fueran de tarifa tipo 1F.

El método con esta muestra fue sumar los consumos de energía de cada mes del año de 2022, una vez que se sumo fue sacar obtener el promedio de consumo de energía cada mes, esto para determinar una línea base en cuestión de consumo de energía de nuestra muestra. La tabla 5 muestra el promedio obtenido de los recibos.

Tabla 5. Consumo mensual promedio de energía.

Meses	Consumo (kWh)
<b>Enero</b>	651.20
<b>Febrero</b>	587.60
<b>Marzo</b>	498.60
<b>Abril</b>	525.90

<b>Mayo</b>	988.80
<b>Junio</b>	1,405.50
<b>Julio</b>	2,087.80
<b>Agosto</b>	2,562.20
<b>Septiembre</b>	2,429.40
<b>Octubre</b>	1,820.30
<b>Noviembre</b>	788.30
<b>Diciembre</b>	582.60

Fuente: Elaboración propia.

Determinación de niveles.

Teniendo como referencia el consumo promedio anual de energía, segmentamos los 10 recibos en base a su consumo. Si un recibo (una residencia) de la muestra estaba 25% por debajo del consumo promedio de energía anual, se consideraba un recibo de consumo de energía bajo, en cambio, si el recibo estaba 25% por arriba del promedio, se consideraría un recibo de consumo de energía alto y si el recibo se encontraba entre estos dos rangos se consideraría un recibo de consumo de energía medio. Por lo tanto, tomando en cuenta esta medida, cualquier recibo que estuviera por debajo de los 11,196 kWh de consumo anual se consideraría un recibo de consumo bajo. Todo recibo que se encontrar entre 11,197 – 18,660 kWh de consumo anual estarán en el nivel de consumo de energía. Y finalmente todos los recibos que estuvieran por arriba de los 18,660 kWh se encontrarán en el nivel de consumo de alto.

En la tabla 6 se observan los resultados de obtenidos con esta segmentación.

Tabla 6. Segmentación de recibos de energía.

<b>Recibos</b>	<b>Nivel de consumo</b>
<b>1</b>	Bajo
<b>2</b>	Alto
<b>3</b>	Alto
<b>4</b>	Alto
<b>5</b>	Medio
<b>6</b>	Bajo
<b>7</b>	Bajo
<b>8</b>	Medio
<b>9</b>	Bajo

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la tabla 6, se clasificaron 5 recibos de consumo bajo, dos recibos de consumo medio y tres recibos de consumo alto de energía.

Después de tener determinado la segmentación de niveles, se les asigno a cada uno la capacidad instalada, lo que quiere decir, cuantos paneles solares y la potencia del inversor que será necesaria para cada caso. En la siguiente tabla se puede observar la cantidad de material principal que se le asigno a cada nivel.

Tabla 7. Cantidad de material por nivel.

<b>Nivel</b>	<b>kWp.</b>	<b>Cantidad de Paneles Solares.</b>	<b>Estructura Solar (capacidad).</b>	<b>Potencia de Inversor.</b>
<b>Bajo</b>	3.57	7	7	3.6
<b>Medio</b>	8.16	16	16	8.2
<b>Alto</b>	10.2	20	10	10

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 7 se puede observar la cantidad de equipo necesario para cada nivel, como resultado se obtuvo en el primer nivel de 3.57 kilowatts de capacidad instalada, para determinar esta potencia instalada se determinaron por medio de paneles solares de 510 watts de potencia. Después se seleccionó un inversor que tuviera una potencia similar a la capacidad instalada, este inversor se seleccionó por lo que se encuentra en el mercado. También se puede observar que se dimensiono el tamaño de la estructura que se va necesitar, esto nos dará la cantidad de aluminio necesaria para esta inversión.

Ya teniendo la cantidad de equipo y su potencia, se determinó un aproximado de material eléctrico por cada nivel, ya teniendo en cuenta la cantidad de equipo y material se le asigno un porcentaje de costo por mano de obra para cada caso. Los porcentajes de la mano de obra fueron determinados por cómo se encuentra el mercado en la zona de Mexicali, también fueron corroborados por la empresa Futura Energy, la cual tiene la experiencia en determinar estos costos.

Con la suma de todos estos rubros, se pudo determinar el costo promedio que tendrá la inversión en cada nivel segmentado. Ahora tomando como base la tabla 4, se puede observar en la tabla 8 los resultados obtenidos para cada nivel.

Tabla 8. Costo de inversión por capacidad instalada.

<b>Nivel</b>	<b>kWp</b>	<b>Costo (Dlls)</b>
<b>Bajo</b>	3.57	\$ 3,121.20
<b>Medio</b>	8.16	\$ 6,704.80
<b>Alto</b>	10.2	\$ 8,092.00

Fuente: Elaboración propia.

Ahorro anual.

Al analizar la capacidad instalada (kWp), obtenemos la cantidad de energía generada durante el año, por lo tanto, podemos obtener cuanta energía se generará mensualmente durante el año en cada nivel seleccionado. Al igual que ya se determinó el consumo promedio de energía de cada nivel y con la tabla 1 y 2 se determinó el costo aproximado que se tendrá mensualmente durante el año, podemos obtener cuanto será el ahorro anual para cada nivel.

La tabla 9 muestra el ahorro anual, ya tomando en cuenta el apoyo gubernamental que se tendría en la temporada de verano, los cargos por alumbrado público y el IVA.

Tabla 9. Ahorro anual promedio por nivel.

<b>Nivel</b>	<b>Ahorro Anual (MXP)</b>
<b>Bajo</b>	\$ 7,834.71
<b>Medio</b>	\$ 23,822.55
<b>Alto</b>	\$ 32,577.85

Fuente: Elaboración propia.

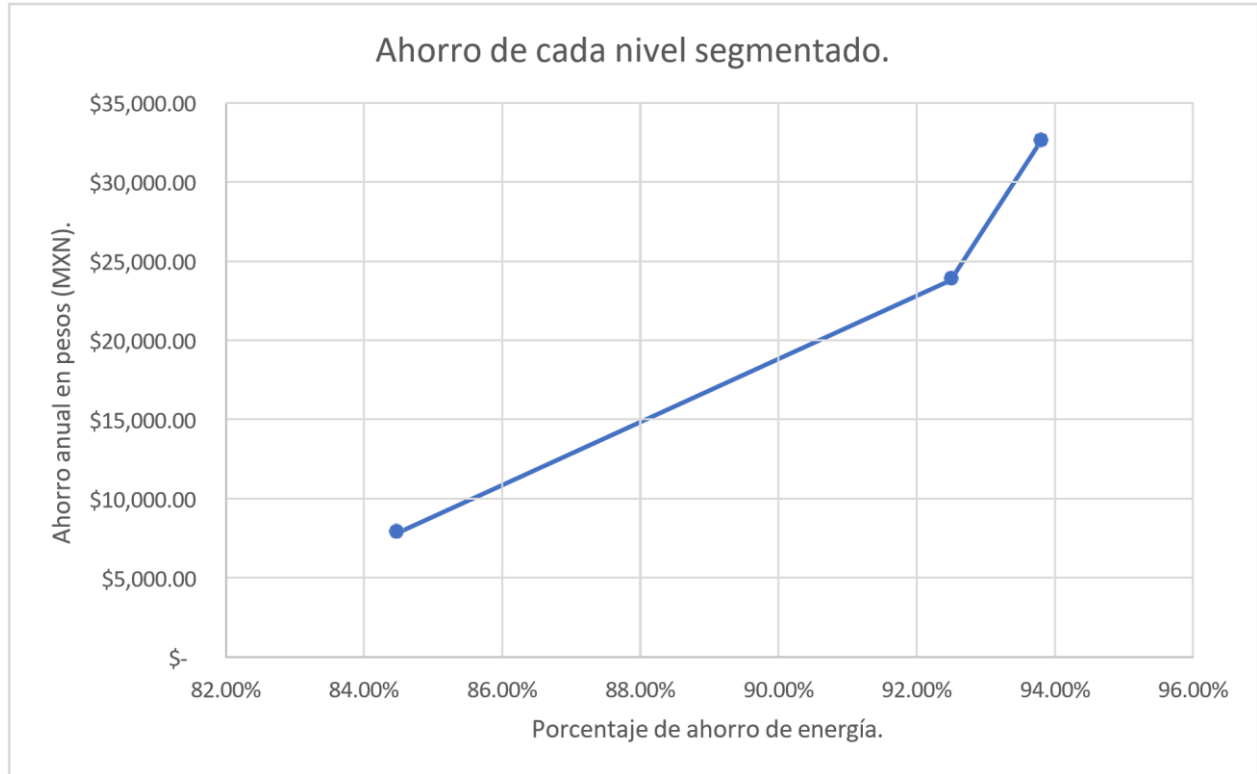
Hay que recalcar que el ahorro anual mostrado en la tabla 9 está dado en pesos mexicanos, debido a que en esta divisa se encuentran las tarifas dadas por CFE.

El ahorro monetario anual de cada nivel se determina por el análisis y proyección que se realiza al proponer cierta capacidad instalada de un sistema fotovoltaico. Esto provoca que, del consumo anual de energía del hogar, un porcentaje es utilizado de la generación de energía del sistema

fotovoltaico (la inversión) y el otro de la generación de energía de CFE, lo cual genera este ahorro al no utilizar el 100% de Comisión Federal de Electricidad.

En la figura 25 se muestra el porcentaje que de ahorro que se estima con el sistema fotovoltaico propuesto y el ahorro que obtendría.

Figura 26. Comportamiento de ahorro en porcentaje y monetario.



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 26 podemos observar el ahorro de manera monetaria y el porcentaje que representa de cada nivel. Si se ve la figura 25 de izquierda a derecha, cada punto es el ahorro en el recibo de consumo bajo, medio y alto el último punto. Hay que decir que el porcentaje y el valor monetario depende totalmente del consumo de energía de cada recibo, ya que el ahorro aumenta de una manera exponencial se puede explicar porque depende del consumo el costo del kilowatt-hora.

Tabla 10. Ahorro anual promedio por nivel en porcentaje.

Nivel	Ahorro Anual Porcentaje
Bajo	84.45 %
Medio	92.48 %
Alto	93.78 %

Fuente: Elaboración propia.

## Resultados.

Para poder determinar un retorno de inversión aproximado de cada nivel, primero tenemos que convertir la inversión inicial de cada uno de estos, en la divisa de pesos mexicanos, sabemos que la inversión puede variar dependiendo del tipo cambio de la divisa. Por lo tanto, se determinó un rango de inversión, basado en un tipo de cambio de \$ 17.5 hasta los \$ 20 pesos mexicanos por cada dólar. Podemos observar los resultados en la tabla 11.

Tabla 11. Costo de inversión por nivel en pesos mexicanos.

<b>Nivel</b>	<b>kWp</b>	<b>Costo (MXP)</b>
<b>Bajo</b>	3.6	\$ 54,621.00 – \$ 62,424.00
<b>Medio</b>	8	\$ 117,344.00 - \$ 134,096.00
<b>Alto</b>	10	\$ 141,610.00 - \$ 161,840.00

Fuente: Elaboración propia.

Para determinar un retorno de inversión consideramos un aumento del 4% en los costos de energía, y un aumento del 5% en consumo de energía, ya que es un comportamiento que sea ha podido observar gracias al registro de tarifas del portal de la Comisión Federal de Electricidad y el registro de recibos de energía de la empresa Futura Energy, La tabla 12 muestra los resultados obtenidos.

Tabla 12. Retorno de inversión en base a ahorro anual.

<b>Nivel</b>	<b>Retorno de inversión (años).</b>
<b>Bajo</b>	6.97 – 7.96.
<b>Medio</b>	4.93 – 5.60.
<b>Alto</b>	4.34 – 4.97

Fuente: Elaboración propia.

## Conclusiones.

Como se puede observar en la tabla 10, el retorno de inversión más corto es el del nivel con consumo alto de energía, obteniendo un retorno de inversión menor a 5 años. El segundo retorno de inversión más corto es el del consumo medio con un periodo máximo de 5.6 años y el retorno de inversión más largo de los tres niveles es el de consumo bajo de energía, llegando hasta casi los 8 años.

Si comparamos los rangos de retorno de inversión de cada nivel, observamos que desde el consumo medio de energía al consumo alto de energía el retorno de inversión se reduce aproximadamente un 11%. Mientras que la reducción de un retorno de inversión desde el consumo bajo de energía con respecto al consumo medio es de alrededor de un 29%.

Este comportamiento es debido a que los costos de energía dependen del consumo, por lo tanto, si en el hogar se está consumiendo una cantidad considerable de energía que supere los 3 y 4 niveles (dependiendo si es temporada de invierno o verano) de energía según las tarifas de CFE, al invertir en la generación de tu propia energía el ahorro es mayor. Ahora observando que la reducción entre el consumo medio y alto es menos de la mitad que la reducción de consumo bajo a medio, esto es debido que la inversión es menor pero la generación de energía cubre casi el mismo porcentaje que la generación de energía del sistema fotovoltaico en el nivel de consumo alto.

Ahora hay que recalcar que, en este retorno de inversión, no se tomó en cuenta el costo de capital. Para poder proyectar el valor presente de la inversión, primeramente, tomamos en cuenta los flujos de 15 años en los tres niveles de consumos de energía. Los flujos de ahorro anual de cada nivel, van aumentando un 4% por año, esto se proyectó así por los registros históricos de CFE, también hay que recordar que los costos de energía no son proporcionales, el costo es menor si se consume menos energía, como es en el caso cuando inviertes en sistemas fotovoltaicos. En la tabla 11 se puede apreciar los flujos (ahorros anuales) de cada nivel de energía.

Tabla 13. Flujos de ahorros anuales.

<b>Nivel de consumo de energía.</b>			
<b>Año</b>	<b>Bajo</b>	<b>Medio</b>	<b>Alto</b>
<b>1</b>	\$ 7,834.71	\$ 23,822.55	\$ 32,577.85
<b>2</b>	\$ 8,148.10	\$ 24,775.45	\$ 33,880.96
<b>3</b>	\$ 8,474.02	\$ 25,766.47	\$ 35,236.20
<b>4</b>	\$ 8,812.98	\$ 26,797.13	\$ 36,645.65
<b>5</b>	\$ 9,165.50	\$ 27,869.01	\$ 38,111.48
<b>6</b>	\$ 9,532.12	\$ 28,983.77	\$ 39,635.94
<b>7</b>	\$ 9,913.41	\$ 30,143.13	\$ 41,221.37
<b>8</b>	\$ 10,309.94	\$ 31,348.85	\$ 42,870.23
<b>9</b>	\$ 10,722.34	\$ 32,602.80	\$ 44,585.04
<b>10</b>	\$ 11,151.24	\$ 33,906.92	\$ 46,368.44
<b>11</b>	\$ 11,597.28	\$ 35,263.19	\$ 48,223.18

<b>12</b>	\$ 12,061.18	\$ 36,673.72	\$ 50,152.10
<b>13</b>	\$ 12,543.62	\$ 38,140.67	\$ 52,158.19
<b>14</b>	\$ 13,045.37	\$ 39,666.30	\$ 54,244.51
<b>15</b>	\$ 13,567.18	\$ 41,252.95	\$ 56,414.30

Fuente: Elaboración propia.

Observando la tabla de flujos ya podemos sumarlos y llevarlos a valor presente neto para observar la realidad del retorno de inversión de los sistemas fotovoltaicos en cada nivel. Si usamos la información de la tabla 9, vemos las inversiones en cada caso. Ahora se llevó cada monto a valor presente neto y se observó cuando se recuperaba la inversión. Se observan los resultados en la tabla 12.

Tabla 14. Retorno de inversión tomando en cuenta VPN.

<b>Nivel</b>	<b>Inversión inicial.</b>	<b>Retorno de inversión.</b>
Bajo	\$ 54,621 - \$ 62,424	10 - 12 años.
Medio	\$ 117,344 - \$134,096	6 - 8 años.
Alto	\$141,610 - \$ 161,840	6 - 7 años.

Fuente: Elaboración propia.

El método que se utilizó para obtener estos retornos de inversión fue con la fórmula que cita el autor Gabriel Baca Urbina, la cual es:

$$P = \frac{F_n}{(1+i)^n}$$

Donde “F” es la cantidad acumulada en el futuro. “i” es la tasa de inflación, que para este caso práctico se determinó a 5% y “n” es el periodo de capitalización. Con esta fórmula se itero el periodo y por consecuencia también la suma del monto final. Como se puede ver los retornos de inversión aumentan en la realidad, el periodo más corto sigue siendo el de consumo alto de energía de 6 a 7 años, también se puede ver que el de consumo medio llega a ser muy similar solo que se puede alargar a 8 años. Se puede ver que la inversión de un sistema fotovoltaico teniendo un consumo bajo de energía, puede llegar a tener un retorno de inversión hasta de 12 años.

Concluyendo los objetivos determinados al principio de esta investigación, podemos observar que la factura de energía mensual si se reducirá notablemente, como se puede observar en la tabla

9. El siguiente objetivo era analizar la rentabilidad de hacer una inversión en este tipo de tecnología, como podemos observar en la tabla 12 la rentabilidad de esta inversión puede rondar desde los 6 a 12 años dependiendo del consumo de energía.

Si ponemos en perspectiva que los sistemas fotovoltaicos tienen garantía de 12 años en equipo, hablando del inversor y los paneles solares, esto no quiere decir que después de los 12 años dejen de funcionar, de hecho, los paneles solares tienen una garantía de funcionamiento de hasta 20 años, si no quiere decir que ellos te garantizan un funcionamiento óptimo o que no va tener falla por 12 años. Esto lo podemos interpretar como que una inversión de este tipo si será rentable si tu consumo de energía es medio o alto en la zona de Mexicali, Baja California, aparte de los beneficios medioambientales y el poder añadirle baterías para solucionar la problemática de los apagones, mientras que un consumo de energía bajo muestra no ser muy conveniente hacer este tipo de inversión.

#### **Bibliografía.**

ACCIONA (s.f.) ¿QUÉ ES LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA Y CÓMO FUNCIONA? [https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-solar/fotovoltaica/?\\_adin=02021864894](https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-solar/fotovoltaica/?_adin=02021864894)

Baca Urbina, G. (2010). Evaluación de proyectos. McGraw Hill.

Blair, Nate, Nicholas DiOrio, Janine Freeman, Paul Gilman, Seven Janzou. Ty Neises, and Michael Wagner. (2018). System Advisor Model. (SAM). (Versión 2017.9.5). National Renewable Energy Laboratory. <https://www.nrel.gov/docs/fy18osti/70414.pdf>

Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), Ensenada Baja California, México. (2018). Red Sísmica del Noroeste de México. <https://resnom.cicese.mx/sitio/ui/img/boletines/sismo-19-nov-18.pdf>.

Comisión Federal de Electricidad. (2023). Historia de la CFE. <https://www.cfe.mx/>

Energías renovables. (2021, 23 de septiembre). Los paneles solares vidrio-vidrio made in Europe, un 40% menos intensivos en CO2 que los chinos. <https://www.energias-renovables.com>

Ley G. J. (2018). Evaluación multi peligro de las instalaciones críticas en la ciudad de Mexicali. En J. Ley y J.F. Mas (Coords./Eds.), Análisis geoespacial en los estudios urbanos. (pp. 201-217). México. UNAM.

Limon, R. (29 de mayo de 2021). Un estudio calcula que los paneles solares generarán 80 millones de toneladas de residuos en tres décadas. El PAIS. [https://elpais.com/ciencia/2021-03-29/un-estudio-calcula-que-los-paneles-solares-generaran-80-millones-de-toneladas-de-residuos-en-tres-decadas.html?event=regonetap&event\\_log=regonetap&prod=REGCRARTCIENCIA&o=cercie\\_ncia](https://elpais.com/ciencia/2021-03-29/un-estudio-calcula-que-los-paneles-solares-generaran-80-millones-de-toneladas-de-residuos-en-tres-decadas.html?event=regonetap&event_log=regonetap&prod=REGCRARTCIENCIA&o=cercie_ncia)

Pareja, M. (2010). Radiación solar y su aprovechamiento energético. MARCOMBO S.A.  
<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=YkxOEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Radiaci%C3%B3n+solar+para+sistemas+fotovoltaicos&ots=r9T94GIldl&sig=cNrY7puDNMhWvLBo vINYIScOnrk#v=onepage&q&f=true>

Programa de Energías Renovables y Eficiencia Energética en Chile (2015). Modelo de Negocio Para venta de energía generada por planta fotovoltaica para autoconsumo e inyección de excedentes de energía conforme a la legislación (GIZ). <https://energypedia.info/images/7/72/Modelo-de-Negocio-ESCO-GIZ2016.pdf>

Servicio Meteorológico Nacional, (s.f). Clima Mexicali. Consultado el 7 de julio de 2023.  
<https://web.archive.org/web/20121214154943/http://smn.cna.gob.mx/climatologia/>

Tejada, M. A., Gómez – Azpeitia, G. (2015). Prontuario solar de México. Universidad de Colima; Universidad Veracruzana.  
[http://ww.ucol.mx/content/publicacionesenlinea/adjuntos/Prontuario-solar-de-Mexico-\(noviembre-de-2015\)\\_6.pdf](http://ww.ucol.mx/content/publicacionesenlinea/adjuntos/Prontuario-solar-de-Mexico-(noviembre-de-2015)_6.pdf).