



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Uso de energía solar para la  
generación de energía eléctrica  
para las  
plantas automotrices en México**

**TESIS**

Que para obtener el título de

**Ingeniero Mecánico**

**P R E S E N T A**

Emilio Galnares Ruiz

**DIRECTOR DE TESIS**

M.I. Rigel Gámez Leal



**Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2024**

## Agradecimientos

### **A mi familia:**

*“Quiero agradecerles a mis padres por todo el apoyo, sacrificio y todos los desvelos que hicieron para que terminara mis estudios universitarios. Les dedico este logro.*

*A mi papá por siempre estar disponible y exigirme ser mejor. A mi mamá por apoyar mis decisiones y aconsejarme.*

*A mis hermanos Diego y Rodrigo por apoyarme en mis metas y no abandonar mis sueños. Gracias por escucharme en las madrugadas o durante los largos viajes a la universidad. Sobre todo, gracias por su compañía. Los quiero.*

### **A mi asesor:**

*Al ingeniero Rigel Gámez Leal, por su paciencia y apoyo durante este largo proceso. Esto no hubiera sido posible sin usted. Muchas gracias por los consejos, la guía y el seguimiento de mi trabajo.*

### **A mis amigos y compañeros:**

*Gracias a todos los que formaron parte de este viaje conmigo e inspirarme a ser mejor estudiante, persona y amigo. A Akayolotzin por su compañía incondicional, a Fernanda por ser mi compañera de laboratorio, a Pedro por su consejo, a Miztli Eco-Racing Team y a Baja SAE UNAM por ser un hogar de aprendizaje. Los llevo conmigo.*

# Índice

Objetivo .....	1
Resumen .....	2
Introducción.....	4
Contexto y antecedentes.....	6
Energía Solar fotovoltaica.....	8
Paneles solares.....	9
Eficiencia fotovoltaica .....	15
Ventajas y desventajas de la energía solar .....	17
Contexto nacional de la energía fotovoltaica.....	18
Industria Automotriz en México.....	19
Importancia de México como país manufacturero.....	21
Importancia de la industria automotriz en el país .....	23
Distribución de la industria en el país.....	27
Uso de la energía solar en plantas automotrices.....	32
Generalidades de espacio y uso de paneles solares .....	35
Uso de energía solar a largo plazo.....	41
Perspectivas del uso de la energía solar en México en plantas automotrices .....	46
Conclusiones .....	55
Referencias .....	57

# Objetivo

El objetivo principal de este trabajo es realizar una revisión del contexto actual en el sector energético fotovoltaico de la industria automotriz en México y, a partir de ella, elaborar una prospectiva del desarrollo de este sector industrial en nuestro país. Se considerarán las principales fortalezas y ventajas con que contamos, así como los retos más importantes que habrá que enfrentar en el futuro de manera que se logre tener un desarrollo sostenible.

# Resumen

El objetivo de esta tesis es revisar el contexto actual del sector energético fotovoltaico de la industria automotriz en México y elaborar una prospectiva del desarrollo de este sector en el país. La revisión muestra que existe un gran potencial para la implementación de paneles solares en las plantas de fabricación de automóviles, lo cual puede generar ahorros significativos a largo plazo.

México cuenta con recursos solares favorables y existen incentivos fiscales para apoyar la inversión en energías renovables. Aunque la inversión inicial puede ser alta, a través del ahorro de costos en energía a largo plazo, es posible obtener un retorno de inversión positivo en un plazo razonable.

La implementación de paneles solares ayuda a diversificar la fuente de energía utilizada y contribuir a la sostenibilidad ambiental. Al realizar un análisis de las ventajas y desventajas, el uso de paneles solares puede ayudar a la contribución a metas de sostenibilidad, responsabilidad social corporativa y reducir los costos de energía a largo plazo, ya que la energía solar es una fuente de energía gratuita y renovable. Esto puede tener un impacto positivo en los costos operativos de la industria automotriz, lo que podría resultar en ahorros significativos a lo largo del tiempo.

La planificación financiera de paneles solares en las plantas automotrices en México puede ofrecer beneficios en términos de ahorro de costos de energía, la diversificación de la fuente de energía y cumplimiento de regulaciones y políticas fiscales. Sin embargo, es importante tener en cuenta la gestión adecuada del ciclo de vida de los paneles solares y considerar todos los aspectos financieros, regulatorios y ambientales para una toma de decisiones de forma informada y exitosa.

La industria manufacturera en México es una parte clave de su economía, contribuyendo significativamente al PIB (Producto Interno Bruto) y generando empleo en el país. México cuenta con una ubicación estratégica, con fronteras compartidas con Estados Unidos de América y países de América Central y del Sur, lo que lo convierte en un lugar atractivo para la inversión extranjera y la manufactura.

La historia de la industria automotriz en México ha experimentado un notable crecimiento a lo largo de los años. Iniciando en la década de 1920 con la instalación de las primeras ensambladoras de automóviles extranjeros, la industria automotriz en México ha evolucionado hasta convertirse en uno de los principales sectores manufactureros del país.

A lo largo de las décadas, se han establecido acuerdos comerciales y políticas gubernamentales que han impulsado la inversión extranjera, la producción local de vehículos y la exportación a mercados internacionales. Actualmente, México es uno de los mayores productores de vehículos en América Latina y cuenta con la presencia de numerosas marcas automotrices globales, contribuyendo significativamente a la economía del país y generando empleo en el sector.

En conclusión, la implementación de paneles solares en las plantas automotrices en México es una oportunidad importante para lograr reducir el impacto ambiental y generar ahorros significativos en la industria automotriz junto con todos los beneficios que trae a las zonas donde estas plantas se construyen.

# Introducción.

En México la industria automotriz es una rama importante dentro de la economía. Su desarrollo trae consigo el crecimiento de otros sectores de alto valor, la generación de empleos de alta calidad y la creación de centros de diseño y tecnología.

Actualmente se tienen las plantas automotrices de las 18 productoras más grandes del mundo en el territorio nacional como lo son Toyota, GM, BMW, Stellantis, Volkswagen, Ford, Nissan, KIA, entre otros.

Además del interés de otras marcas por llegar al territorio nacional como lo es Tesla, una empresa estadounidense interesada en acelerar el cambio hacia la energía sustentable con vehículos eléctricos y soluciones de energía solar fotovoltaica.

Las zonas donde estas plantas se construyen generan un impacto positivo en la sociedad, creando nuevos empleos mejor remunerados, además de que estos centros de ensamble, estampado, modelado, motores y otros, buscan incorporar el uso de energías renovables como parte de su compromiso con el medio ambiente.

El desarrollo tecnológico dentro de la industria automotriz y el uso de plantas cada vez más automatizadas, requiere un elevado consumo energético que seguirá creciendo con el paso de los años y el crecimiento de la población. Por ello la urgencia de iniciar trabajos de investigación sobre los beneficios de la energía solar en un país privilegiado geográficamente como lo es México. (Ballesteros, 2016)

Bajo este panorama, el país se ubica en una de las zonas con mayor radiación solar en el mundo. Esta ventaja no ha sido explotada en la república a causa de las limitaciones tecnológicas y de rendimiento en las fuentes de generación. Como resultado de los avances tecnológicos en el desarrollo de dispositivos captadores de energía solar, es posible pensar hoy en ella como una fuente competitiva en el mercado energético. (Rodriguez Suarez, Espinoza Navarrete, Rosenbuch, & Ortega Navarro, 2017)

La energía solar puede utilizarse para la generación de energía eléctrica mediante el uso de paneles solares fotovoltaicos, los cuales se encargan de convertir la radiación solar en energía eléctrica, permitiendo su uso en diversas actividades de las plantas automotrices distribuidas en la república. (Limón, 2021)

Los paneles fotovoltaicos están en la balanza de la huella de carbono, si bien el futuro de la energía solar está fuertemente relacionado con la eficiencia de estos paneles, es importante considerar su origen de fabricación además de elegir en base a criterios de vida útil, porcentaje de aprovechamiento, adaptación a las necesidades

de los clientes y procesos. Dando lugar a la reducción de huella de carbono por contaminación indirecta y reducción en la acumulación de residuos. (Ballesteros, 2016)

En sintonía con lo anterior, conocer a detalle los beneficios del uso de energía solar, los tipos de paneles solares para captar los fotones de luz, el impacto al corto plazo de la migración a un sistema eléctrico híbrido (solar y fósil), así como las locaciones favorables para el futuro desarrollo de plantas serán algunos de los temas de investigación desarrollados a lo largo de este trabajo de tesis.

Se busca así la divulgación de la energía renovable, la concientización del impacto de los combustibles fósiles y la urgencia, particularmente en el sector automotriz de tomar medidas en contra de las emisiones y el ahorro de energía. Logrando así un mejor entendimiento del impacto de la huella de carbono y un apoyo en el futuro desarrollo de trabajos relacionados con la energía fotovoltaica. (Rodríguez Suarez, Espinoza Navarrete, Rosenbuch, & Ortega Navarro, 2017)



## Contexto y antecedentes

El mundo responde al cambio climático, los países están entrando en una etapa de transformación como respuesta a los objetivos de desarrollo sostenible de la ONU, el Acuerdo de París, los compromisos de la industria con su huella de carbono y las nuevas oportunidades de negocio. En el contexto global, países como China, India, Japón, EEUU, Australia, Alemania, México, entre otros tuvieron un crecimiento significativo en la generación de energía solar.

La energía solar es limpia, segura e inagotable, por lo que existe un campo de aplicación con diversas posibilidades y en conjunto con el constante avance tecnológico, la transformación en energía eléctrica de este recurso es cada vez más eficiente y barata. Se ha visto reflejado esto en los paneles solares, los cuales son dispositivos formados por celdas fotovoltaicas de metales sensibles a la luz en los cuales se hace una comparación de eficiencia, potencia y tamaño, en donde un promedio de 19.1% de luz solar es aprovechada por las celdas actuales.

Según la International Renewable Energy Agency (IRENA), la expansión de la energía solar y de la eólica avasallan, representando conjuntamente el 90% de todas las sumas renovables netas en 2021 (IRENA, 2022). En la gráfica de la figura 1 se muestra el crecimiento de las energías renovables en los últimos años.

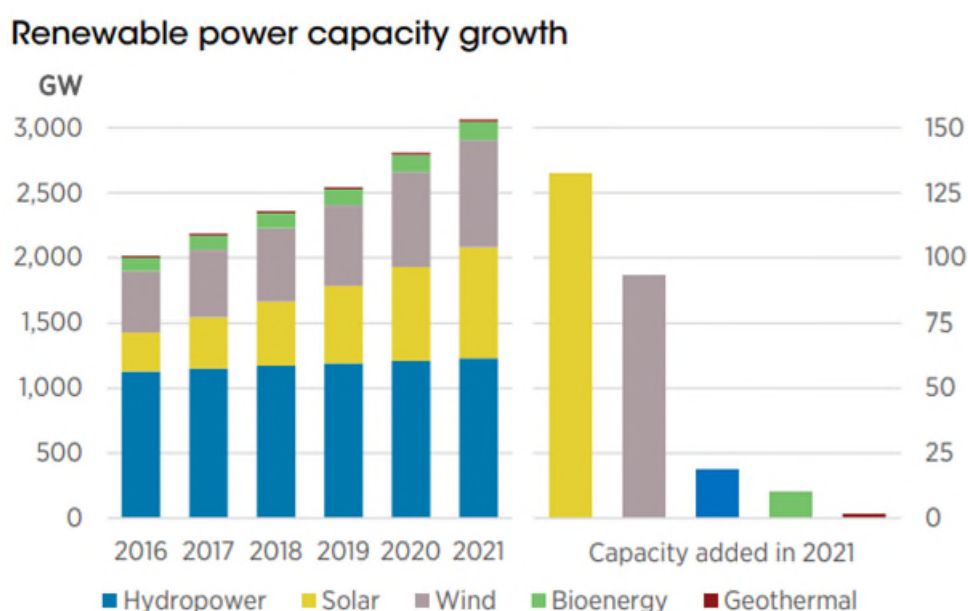


Figura 1. Gráfica de crecimiento de energías renovables. (IRENA, 2022)

Asia continúa liderando la expansión solar con un incremento de 76 GW. Los demás países asiáticos como Corea, Japón y China fueron de los principales en tener un crecimiento importante. Mientras que, México, continúa avanzando y añadió más

de 1 GW en energía solar en el año 2019 con una notoria expansión respecto años anteriores y un aumento de 1.2 GW en 2020. Estos avances se pueden ver reflejados en las figuras 2 y 3 proporcionadas por IRENA.

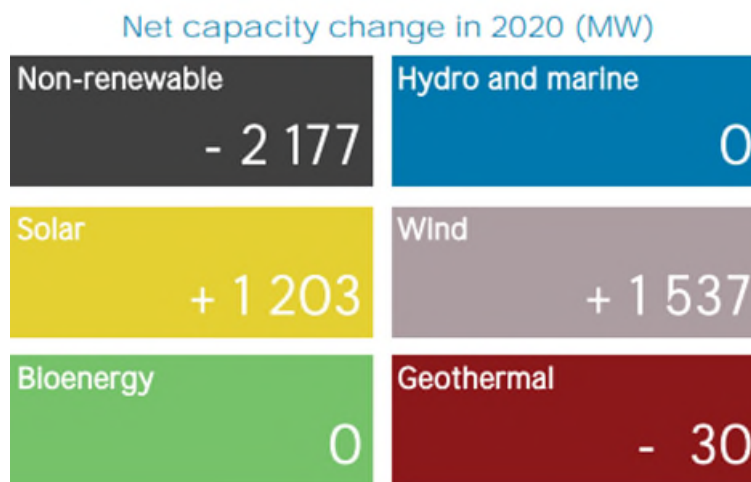


Figura 2. Cambio en la capacidad.

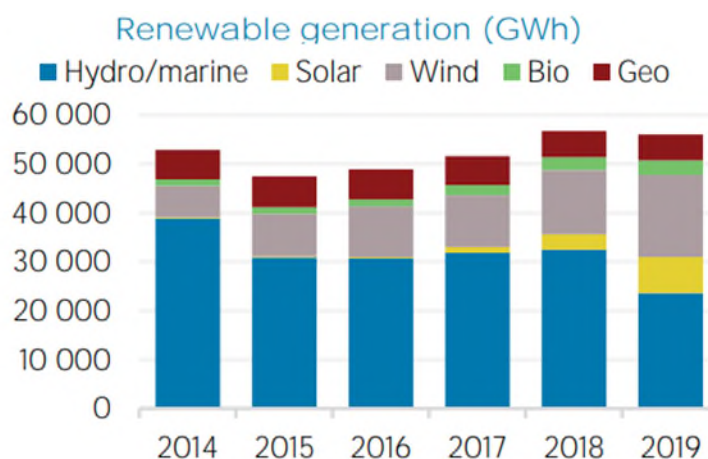


Figura 3. Generación de energía renovable en México.

Dicho esto, el uso de energía solar en las plantas automotrices en México se ha vuelto cada vez más común en los últimos años, ya que muchas empresas están buscando formas de reducir su consumo de energía y sus emisiones de carbono. En particular, la industria automotriz es una de las más intensivas en energía, debido a los procesos de producción que implican el uso de maquinaria pesada, iluminación y sistemas de climatización. Por lo tanto, la adopción de energía solar es una opción atractiva para reducir los costos de energía y disminuir el impacto ambiental. Algunas empresas automotrices en México, como Audi, BMW, Ford, General Motors y Nissan, han implementado proyectos de energía solar en sus plantas de producción. Por ejemplo, la planta de Ford en Cuautitlán Izcalli cuenta con una instalación de paneles solares de 1.3 megavatios, lo que le permite generar alrededor del 30% de su energía a partir de fuentes renovables. Además, algunas empresas han implementado

programas de eficiencia energética que incluyen la adopción de energía solar. Por ejemplo, General Motors ha establecido una meta global para reducir el consumo de energía en sus plantas en un 20% para el año 2020, y ha utilizado paneles solares para alcanzar esta meta en algunas de sus plantas en México y otros países. En resumen, el uso de energía solar en las plantas automotrices en México es una tendencia en crecimiento, impulsada por la necesidad de reducir los costos de energía y las emisiones de carbono, y apoyada por los avances tecnológicos y las iniciativas de eficiencia energética.

Es cierto que el país año con año crece en el campo solar, por ello, las industrias también deben crecer en materia fotovoltaica. Como siguiente punto, el aprovechamiento de este recurso natural para la generación de electricidad es conocido como efecto fotovoltaico, el cual ocurre debido a la energía solar fotovoltaica.

## Energía Solar fotovoltaica

La historia de la energía solar tiene un inicio prehistórico, ha existido desde hace cuatro mil seiscientos millones años, la edad del sol, es renovable y en un segundo es capaz de producir la energía suficiente para satisfacer la demanda del planeta por 500,000 años según un artículo de GOOD Magazine. (Palou, 2010)

Esta energía solar es radiación electromagnética proveniente de la estrella al centro de nuestro sistema solar y aunque hubo una larga serie de experimentos y aplicaciones desarrolladas durante años para su aprovechamiento, no fue hasta 1838 que gracias al físico francés Alexandre Edmond Becquerel hubo un hito en la historia al descubrir el efecto fotovoltaico.

Este efecto tiene lugar cuando la luz solar se absorbe a través de un material semiconductor, el cual, es capaz de transformar las ondas electromagnéticas de la energía radiante en energía eléctrica, todo esto gracias a las células fotovoltaicas. El funcionamiento de estas células es a nivel nanométrico, y ocurre en los electrones que tiene toda la materia.

El movimiento genera energía eléctrica, hacer circular los electrones dentro de cada átomo es lo que provoca el flujo de corriente. Al chocar los fotones de la radiación del sol sobre una cara del material semiconductor, el cual absorbe la energía, ocasiona una diferencia de potencial en las capas de las células fotovoltaicas generando un campo eléctrico que entre más luz incide de la fuente luminosa más energía eléctrica se produce, es decir, crecen proporcionalmente (Planas, 2016).

*“A grandes rasgos, el efecto fotoeléctrico es la comprobación teórico-experimental de que la luz (o radiación electromagnética en general), además de comportarse como ondas electromagnéticas que pueden viajar en el vacío a velocidad constante de  $c = 3 \times 10^8$  m/s, dada por la relación:*

$$c = \lambda f. \text{ Ec. 1.1}$$

*Con  $\lambda$  la longitud de onda y  $f$  su frecuencia, también se comporta como partículas llamadas “fotones”, capaces de interactuar con la materia obedeciendo las leyes de conservación de cantidad de movimiento y de conservación de la energía en la interacción. De esta manera, la energía de los fotones es proporcional a la frecuencia de la onda correspondiente según la relación de Planck.*

$$E = hf \text{ ó } E = hc/\lambda. \text{ Ec. 1.2}$$

*Entonces, en el efecto fotoeléctrico, cuando se hace incidir radiación monocromática (de una sola  $\lambda$ ) hacia un material, se transfiere la energía del fotón hacia el material y logra expulsar sus electrones al exterior, siempre que la energía incidente logre vencer la energía de formación del material, llamada función trabajo,  $\phi$ . De modo que, si se mide la energía cinética de los electrones ya expulsados, eV, se obtendrá el mismo resultado que usando el cálculo de la conservación de energía, es decir.*

$$hf - \phi = eV, \text{ Ec. 1.3 “}$$

- (Garza, 2020)

En otras palabras, la energía solar fotovoltaica es una forma de energía renovable que se produce a partir de la conversión de la luz solar en electricidad. La energía solar fotovoltaica se utiliza en los paneles solares, que están compuestos por células solares fotovoltaicas, estos se utilizan en sistemas fotovoltaicos para generar electricidad que puede ser utilizada para alimentar dispositivos eléctricos o enviar energía a la red eléctrica. (Iberdrola, 2023)

Una vez entendido el efecto fotovoltaico, es posible conocer el funcionamiento de los paneles solares, los cuales involucran un dispositivo formado por diversas capas, en donde ocurre la transformación de energías.

## Paneles solares

Dicho esto, la energía solar es limpia, segura e inagotable, por lo que existe un campo de aplicación con diversas posibilidades y añadiendo el avance tecnológico, la transformación en energía eléctrica de este recurso es cada vez más eficiente y barata.

Estos avances en la tecnología se ven reflejados en el panel solar, el cual es un dispositivo que convierte la energía de la luz solar en electricidad mediante el uso de células solares fotovoltaicas. Los paneles solares están compuestos por un conjunto de células solares fotovoltaicas, que se conectan entre sí para formar un módulo solar. Cada célula solar fotovoltaica es un dispositivo semiconductor que está

diseñado para generar una corriente eléctrica cuando la luz solar incide sobre su superficie. (Svarc, 2022)

Los materiales utilizados en la fabricación de las células solares fotovoltaicas pueden variar, pero los más comunes son el silicio cristalino y los materiales de película delgada, como el telururo de cadmio y el seleniuro de cobre.

El silicio es un material abundante y económico, y es uno de los elementos más comunes en la corteza terrestre. Además, el silicio tiene una estructura cristalina que le permite formar enlaces covalentes, lo que lo convierte en un buen conductor de la electricidad. En la fabricación de células solares fotovoltaicas, se utiliza silicio dopado, es decir, silicio al que se le ha añadido impurezas controladas para crear una zona p-n en la célula solar. La zona p es rica en huecos, mientras que la zona n es rica en electrones, y cuando se juntan, generan una corriente eléctrica. Las células solares de silicio tienen una eficiencia de conversión de alrededor del 15 al 23%, lo que significa que convierten alrededor del 15-23% de la energía de la luz solar en electricidad. Si bien existen otros materiales que pueden ser utilizados en las células solares, como los materiales de película delgada, el silicio sigue siendo el material predominante en la industria solar debido a su disponibilidad, bajo costo y eficiencia. (Svarc, 2022)

El funcionamiento de los paneles solares es sencillo: cuando la luz solar incide sobre la superficie del panel solar, los electrones de los materiales semiconductores se liberan, generando una corriente eléctrica continua. La corriente eléctrica generada por el panel solar puede ser utilizada para alimentar dispositivos eléctricos, recargar baterías, o enviar la energía a la red eléctrica. Los paneles solares son un componente clave de los sistemas de energía solar fotovoltaica, que se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones, desde sistemas de energía solar para hogares y empresas, hasta instalaciones de energía solar a gran escala para parques solares y centrales eléctricas. En la figura 4 se puede ver una representación esquemática de un panel solar. (Rodríguez Suarez, Espinoza Navarrete, Rosenbuch, & Ortega Navarro, 2017)

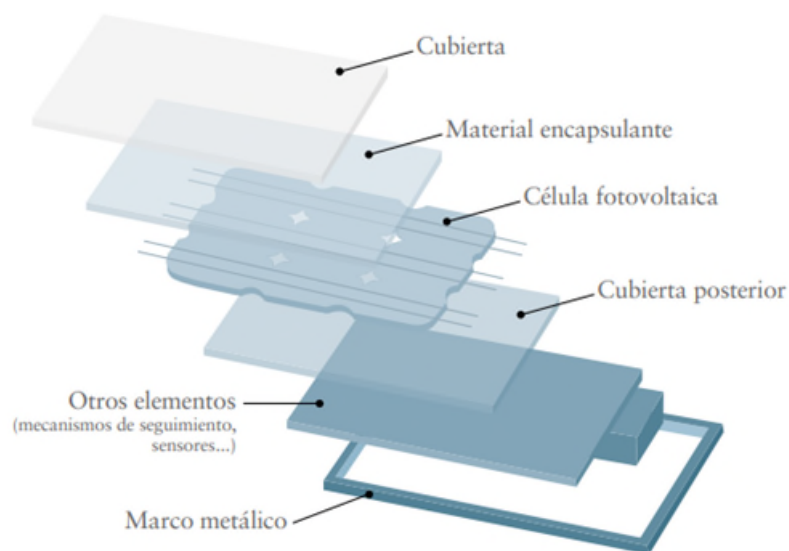


Figura 4. Esquema de un módulo solar fotovoltaico. (Ecosistemas del Sureste, 2015)

En resumen, el silicio se utiliza en los paneles solares porque es un material semiconductor que permite la generación de corriente eléctrica cuando es expuesto a la luz solar. El silicio es abundante, económico y tiene una estructura cristalina que lo hace ideal para la fabricación de células solares fotovoltaicas. Suele dividirse en monocristalino, policristalino y amorfo. Los primeros son de una calidad muy superior al resto, empresas como Panasonic incorporan este tipo de material puro.

Según SUNFIELDS Europe, un estudio hecho por Energy Trend en 2018 muestra las eficiencias de los diferentes paneles solares y en base a ello, se generó la siguiente tabla actualizada con las diez placas fotovoltaicas más eficientes del mercado (Lorenzo, 2015):

Fabricante	Modelo	Eficiencia	Potencia
SunPower	Maxeon 6 (SUNPOWER, 2022)	22.8%	420-440W
Canadian Solar	HiHero	22.5%	420W
Panasonic	EverVolt H	22.2%	410W
SunPower	MAX3-390	22.1%	390W

Meyer Burger	Glass 385	21.5%	385W
Meyer Burger	Black 395	21.28%	350W
Futura	FU360M Zebra	21.28%	350W
SunPower	MAX3-370	20.9%	370W
LG Neon R	LG360Q1C- A5	20.8%	360W
Futura	FU350M Zebra	20.69%	350W
LG	LG355Q1C- A5	20.6%	355W
AUO	SunForte	20.6%	335W

Tabla 1. Lista de placas fotovoltaicas.

Estamos limitados a las eficiencias menores a 25%, según la International Energy Agency, existe la posibilidad de fabricación de celdas con eficiencias más altas. Una de las propuestas consiste en apilar materiales de distinto grosor en una unión a la cuál denominan *tandem*. Utilizando este método podrían ser concebibles eficiencias de más de 40% a costos relativamente bajos, pero aún sigue siendo teórico (International Energy Agency (IEA), 2011)

Sin embargo, existe otro problema que se conecta fuertemente con la instalación de paneles en el mundo, el espacio, actualmente existen soluciones conocidas como la instalación de paneles solares flotantes. Estos paneles se instalan en cuerpos de agua como lagos, embalses, ríos o incluso en el mar, lo que permite aprovechar el espacio disponible sin afectar la tierra o las edificaciones (Endesa, 2022). Los paneles solares flotantes tienen varios beneficios, entre ellos:

- Ahorro de espacio: se pueden aprovechar cuerpos de agua que no tienen otros usos.

- Mayor eficiencia energética: al estar sobre el agua, la temperatura de los paneles solares se mantiene más baja, lo que mejora su rendimiento.
- Reducción de la evaporación: al cubrir la superficie del agua, se reduce la evaporación y se evita la pérdida de agua por la exposición directa al sol.
- Menor impacto ambiental: al no requerir espacio en tierra, se evita la degradación de los ecosistemas terrestres y se reduce el impacto ambiental de la construcción de estructuras para soportar los paneles solares.

Por lo que, en teoría, sí se podrían utilizar paneles solares flotantes para alimentar una planta automotriz, siempre y cuando se tenga en cuenta la cantidad de energía que se requiere para operar la planta y la capacidad de los paneles solares flotantes para generar esa energía.

Para una planta automotriz, se necesitaría una gran cantidad de energía, por lo que es necesario instalar una gran cantidad de paneles solares flotantes. Además, se debe tener en cuenta la variabilidad de la producción de energía de los paneles solares, ya que su producción depende de las condiciones climáticas, como la cantidad de sol, la nubosidad y la temperatura. Otro factor para considerar sería el almacenamiento de energía, ya que la energía producida por los paneles solares flotantes no siempre coincidirá con la demanda de energía de la planta automotriz.

Mientras que los paneles solares flotantes pueden ser una solución eficiente para el problema de espacio en la instalación de sistemas de energía solar, requieren una localización cercana a un gran cuerpo de agua y la necesidad de un sistema de almacenamiento de energía de esa magnitud.

Para superar estos obstáculos, una empresa de nueva creación con gran potencial de crecimiento llamada HELIATEK, fundada en Alemania en 2006, ha diseñado paneles solares flexibles que pueden ser colocados en todas las superficies en contacto con el sol. Dando solución al problema de espacio para instalación de paneles en corporativos, viviendas, escuelas, plantas industriales, etc.

*“...somos el primer productor en serie del mundo de películas solares orgánicas que abren perspectivas completamente nuevas para la producción de electricidad limpia. Al abrir un espacio que no se usaba anteriormente, estamos habilitando un mundo de edificios de energía autónomos. La electricidad verde se puede producir hoy y en el futuro donde ayer era imposible.”*

- (HELIATEK, 2023)



Los paneles solares flexibles pueden utilizarse en una planta automotriz de varias maneras para reducir el consumo de energía y promover la sostenibilidad. Algunas de ellas son:

- Alimentación de sistemas de iluminación: Los paneles solares flexibles pueden instalarse en la cubierta del edificio o en otras áreas expuestas al sol, y utilizarse para alimentar los sistemas de iluminación de la planta. De esta manera, se puede reducir la cantidad de energía que se utiliza de la red eléctrica.
- Generación de energía para maquinaria: Algunas máquinas y equipos en una planta automotriz requieren una gran cantidad de energía para funcionar. Los paneles solares flexibles pueden utilizarse para generar energía y alimentar estas máquinas, reduciendo así la dependencia de la red eléctrica.
- Refrigeración de espacios: En las plantas automotrices, es común tener grandes espacios que requieren refrigeración. Los paneles solares flexibles pueden utilizarse para alimentar los sistemas de refrigeración de estos espacios, lo que ayuda a reducir el consumo de energía de la red eléctrica.
- Carga de vehículos eléctricos: Si la planta automotriz tiene vehículos eléctricos en su flota, los paneles solares flexibles pueden utilizarse para cargar las baterías de estos vehículos. Esto ayuda a reducir la dependencia de la red eléctrica y promueve la utilización de energía renovable.

En general, los paneles solares flexibles pueden utilizarse en una planta automotriz de varias maneras para reducir el consumo de energía y aumentar la eficiencia energética. Además, el trabajo de investigación y emprendimiento de los estudiantes de la Universidad Técnica de Dresde y la Universidad de Ulm, abrió la puerta a un mundo de soluciones, esto tendrá un impacto positivo en la carrera de transición a la energía renovable.

Esto no es lo único, existen muchos casos aislados en el mundo, en Filipinas la idea de Carvey Ehren Maigne ganadora del Premio a la Sostenibilidad de la Fundación James Dyson en 2020, da solución a la obtención de energía solar a través de paneles sin necesidad de la luz solar. (Dyson, 2023)



Figura 5. Ejemplos de aplicación de paneles flexibles tomada de HELIATEK.

## Eficiencia fotovoltaica

Se sabe que la eficiencia es utilizada para medir la capacidad de algo o alguien para realizar de forma apropiada una función específica. Hoy en día, es muy amplia la información sobre energía solar fotovoltaica y los paneles solares. Mucha de esta información gira en torno a la eficiencia de estos dispositivos captadores de radiación solar y cómo ésta ha ido en aumento conforme el avance tecnológico y en el desarrollo de nuevas vertientes que permiten mayores eficiencias que los actuales. Por ello, la importancia de los ingenieros en realizar investigaciones que ayuden a contextualizar el uso de estos dispositivos. La eficiencia de un panel se refiere a la capacidad de este para transformar la radiación solar en energía eléctrica, es decir, que de toda la luz que capte la superficie del dispositivo, únicamente un porcentaje será aprovechado en la generación de electricidad no contaminante, limpia y libre de gases de efecto invernadero. (Regalado Pérez, N. R., & X., 2022)

La eficiencia fotovoltaica se expresa en porcentaje y puede variar dependiendo del tipo de tecnología utilizada en el dispositivo fotovoltaico. Por ejemplo, las células solares de silicio monocristalino tienen una eficiencia fotovoltaica típica de alrededor del 20%, mientras que las células solares de película delgada tienen una eficiencia fotovoltaica típica de alrededor del 10%.

Es importante destacar que el porcentaje de eficiencia en el mercado es muy variado y depende de cada marca y panel solar. En el mercado actual los valores están entre el 15 y 18 por ciento de eficiencia, según los datos recabados en nuestra tabla comparativa de placas fotovoltaicas tenemos un promedio de 21.235% de eficiencia fotovoltaica, lo cual es una cantidad relativamente pequeña.

Esta es un área de oportunidad importante para la industria, pero qué tanto es posible aumentar estos porcentajes, según la teoría y gracias al límite de Shockley–Queisser, el cual es una brecha teórica y se calcula como la máxima eficiencia de una unión p-n (un cristal de silicio que está dopado mediante la unión de dos materiales semiconductores de tipo N y de tipo P). Es decir, la energía solar está condicionada a la cantidad de luz que puede convertirse en energía eléctrica útil dentro de una celda solar formada por silicio.

El límite sitúa la eficiencia máxima en el entorno de 33,7%, asumiendo una única unión p-n con una banda prohibida de 1.34 eV. Es decir, de la energía solar incidente, solo 33,7% se podría convertir en electricidad. El material más usado en células fotovoltaicas, el silicio tiene una banda aún más desfavorable, de 1,1 eV, lo que rebaja el máximo para células comerciales al 29%. Tecnologías modernas como el silicio monocristalino han llegado a alcanzar eficiencias del 22%, separadas de este máximo solo por consideraciones prácticas como radiación reflejada en la superficie y sombras debidas a las conexiones de la unión.  
- (Google Culture, 2023)

Pero investigadores del MIT (Mailoa, 2016) han descubierto una forma de extraer aún más energía de la luz que incide en una célula solar, creyendo que pueden elevar la eficiencia de las células solares de silicio a niveles en torno al 35%. Los aprendizajes más importantes de esta investigación nos indican que la ventaja de rendimiento energético frente a la celda de referencia (1J CdTe) alcanza entre 25% para clima húmedo y 33% para clima seco. Esto sin necesidad de un mayor costo de fabricación, apuntando a que el uso de paneles solares en el futuro seguirá siendo más eficiente.

La eficiencia fotovoltaica es un factor crítico para determinar la viabilidad económica de la energía solar fotovoltaica. Cuanto mayor sea la eficiencia fotovoltaica, mayor será la cantidad de energía eléctrica producida por un dispositivo dado y, por lo tanto, menor será el costo por unidad de energía eléctrica producida. Es importante destacar que la eficiencia fotovoltaica puede verse afectada por varios factores, como la temperatura, la intensidad de la luz solar, la calidad de los materiales utilizados y la orientación del dispositivo fotovoltaico. Por lo tanto, se deben tener en cuenta todos estos factores al seleccionar y diseñar sistemas fotovoltaicos eficientes.  
(Mailoa, 2016)

## Ventajas y desventajas de la energía solar

En la investigación hemos visto algunos puntos positivos en cuanto al uso de la energía solar en la generación de energía eléctrica, sin embargo, es importante mencionar algunos aspectos negativos que implican su uso. En la siguiente tabla se presentan algunas de las ventajas y desventajas de la energía solar:

Ventajas	Desventajas
Energía limpia y libre de gases invernadero.	Grandes extensiones territoriales.
Energía renovable.	Necesita otra fuente de energía para compensar el consumo.
No hay costos adicionales por su uso.	No es constante.
Adaptabilidad geográfica en México.	Costos iniciales altos.
Se adapta a las necesidades.	Los paneles solares sí contaminan al producirse o fabricarse.
Su transformación es cada vez más eficiente y barata.	La contaminación puede afectar su rendimiento.
No genera ruido ambiental.	El mantenimiento debe ser constante.
La luz solar abunda.	Al final de su vida útil se debe manejar con cuidado el material (silicio).
Es fácil de instalar	No se puede almacenar la energía fácilmente.
Reduce la dependencia de los combustibles fósiles y los precios volátiles del petróleo y el gas natural.	La energía solar es intermitente y depende de la disponibilidad de luz solar.

Tabla 2. Lista de ventajas y desventajas de la energía solar. (Silveira, 2017) y (AQUAE, 2021)

Entrando en detalle, existen factores que determinan ventajas y desventajas de la energía solar, cuando se trata de paneles solares, se tiene en cuenta la

ubicación geográfica, aunque México es un país privilegiado en este aspecto, otras naciones al norte de Asia y Europa no tienen el mismo potencial energético.

Las limitantes también incluyen el espacio disponible en la propiedad donde se realizará la instalación de los paneles, las condiciones climáticas y el consumo promedio de energía eléctrica. En contraste, con una buena instalación y número de paneles adecuado se puede ahorrar hasta 90% del recibo de luz y aumentar la plusvalía de la propiedad, haciendo evidente el retorno a largo plazo de la inversión inicial. (Neumeier, 2023)

Sin embargo, en el proceso de producción de los paneles solares, existe la contaminación a lo largo de su cadena de suministro, empezando desde la energía utilizada para extraer las materias primas como el silicio, después su proceso de fabricación e instalación y hasta el fin de su vida útil, cuando se convierte en un panel obsoleto.

Afortunadamente, un panel solar tarda aproximadamente tres años en recuperar la energía que se utilizó para crearlo y además, gracias a que están diseñados en metales y vidrio se puede reciclar hasta un 98% de su peso, según la empresa solar (Porras, 2020)

En general, la energía solar tiene muchas ventajas, especialmente como una alternativa limpia y renovable a los combustibles fósiles. Sin embargo, también presenta algunos desafíos y limitaciones que deben ser considerados al tomar decisiones sobre la implementación de esta tecnología en diferentes contextos.

## Contexto nacional de la energía fotovoltaica.

Las energías renovables no son una novedad para el país. Se han tomado iniciativas en políticas para promover la utilización de este tipo de energías y desde hace 40 años la energía solar ha sido en las investigaciones un tema de inquietud, es por ello, que la seriedad y rigurosidad se exigen en este trabajo de tesis.

En México, la energía fotovoltaica ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos años. El país cuenta con una gran cantidad de horas de sol al año, lo que lo convierte en un lugar ideal para el desarrollo de proyectos de energía solar.

El problema de esto es que no se aprovecha tanto como debiera, no se utilizan las energías renovables y no se explota este recurso natural. Añadiendo que las políticas actuales del gobierno frenaron a inicios de 2020 la llegada de centrales solares en el mercado de generación de energía eléctrica. A pesar del fallo de la

suprema corte que lograba cancelar esta política, muchos proyectos venideros en el país se quedaron a la espera de construcción. (Bnamericas, 2020)

Sin embargo, México sigue creciendo en ciertos rubros relacionados a pequeñas empresas y de pequeña escala, como lo son la generación de energía eléctrica a través de paneles fotovoltaicos en comunidades rurales y urbanas, el calentamiento de agua en viviendas, comercios y espacios recreativos. Existen numerosas empresas locales e internacionales que ofrecen servicios de diseño, instalación y mantenimiento de sistemas solares fotovoltaicos para hogares y empresas. (Cervantes, 2021)

Además, en los últimos años se han llevado a cabo subastas de energía eléctrica a largo plazo en las que se han otorgado contratos a empresas para la generación de energía a partir de fuentes renovables, incluyendo la energía solar fotovoltaica.

De esto se concluye que la expansión a gran escala se verá reflejada en este sector cuando las políticas gubernamentales sean de apoyo y mejora al mercado eléctrico en diferentes regiones de la república. Apoyando esto, las viviendas sustentables toman una parte importante, en México existen 35,219,141 viviendas particulares habitadas de acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2020 de la INEGI, que, de ser impulsados los programas de vivienda con criterios ambientales, se tendrán sistemas de aprovechamiento de la energía solar para ahorro de energía, ventilación, calentamiento de agua, sistemas de riego y climatización de la vivienda. Todo esto partiendo desde la concientización de la población, programas de apoyo, difusión y capacitación. Así mismo de romper barreras de construcción en materia de energía solar, crear nuevas políticas y reducir los permisos restrictivos. (INEGI, 2020) (Petrarca, 2021)

## Industria Automotriz en México

El automóvil cambió la forma en que las personas viven, el cómo se transportaban, donde trabajaban y disfrutaban sus tiempos libres. El proceso de desarrollo y fabricación de los carros tuvo un impacto enorme en la industria como en el estilo de vida de la gente, ya que el desarrollo de esta industria trae consigo el crecimiento de otros sectores de alto valor, la generación de empleos de alta calidad y la creación de centros de diseño y tecnología.

La industria automotriz en México comenzó en la década de 1920 con la producción de vehículos para el mercado local. En 1925, se estableció la compañía

"Ford Motor Company de México" y comenzó la producción de vehículos Ford en una planta en la Ciudad de México. Durante las décadas de 1930 y 1940, se establecieron varias compañías automotrices en México, incluyendo General Motors y Chrysler.

Sin embargo, la producción de automóviles en México fue limitada y la mayoría de los vehículos fueron importados. La industria automotriz en México experimentó un crecimiento significativo a partir de la década de 1960, cuando el gobierno mexicano comenzó a promover la inversión extranjera y la industrialización del país.

En 1962, se estableció la compañía Volkswagen de México, que se convirtió en una de las mayores productoras de automóviles en el país. En la década de 1980, se establecieron varias compañías automotrices japonesas en México, incluyendo Nissan y Honda. Durante la década de 1990, la industria automotriz mexicana continuó expandiéndose con la llegada de más compañías extranjeras, como Ford, General Motors y Toyota. (Miranda, 2017)

Actualmente se tienen las plantas automotrices de las 18 productoras más grandes del mundo en el territorio nacional como lo son Toyota, GM, BMW, Stellantis, Volkswagen, Ford, Nissan, entre otros.

Las zonas donde estas plantas se construyen generan un impacto positivo en la sociedad, creando nuevos empleos mejor remunerados, además de que estos centros de ensamble, estampado, modelado, motores y otros, buscan incorporar el uso de energías renovables como parte de su compromiso con el medio ambiente.

Derivado de la aplicación del TLCAN, México se convirtió en una plataforma de exportación hacia Estados Unidos, debido a los menores costos de producción asociados a los bajos salarios, y se hace énfasis en los retos salariales que enfrentará el sector ante la revolución tecnológica de la «Industria 4.0»

La industria automotriz ha crecido sostenidamente a nivel global. Se ha caracterizado por ser un sector altamente dinámico y competitivo que se ha enfrentado a diversos desafíos de orden económico, social y tecnológico. Como respuesta a estos desafíos, la industria automotriz ha tenido que estar en constante transformación. En este contexto, México ha sido uno de los principales destinos para la instalación de plantas automotrices ensambladoras, autopartes y maquiladoras. Desde 2014, México logró posicionarse en el séptimo lugar de la producción mundial de automóviles, después de India, Corea del Sur, Alemania, Japón, Estados Unidos y China; recientemente, en 2018, se colocó en el sexto lugar en producción de automóviles y el quinto de autopartes, a nivel mundial. Las razones fundamentales que explican este crecimiento son la cercanía geográfica con Estados Unidos, la

disponibilidad de mano de obra de bajo costo, los diversos incentivos y los decretos generados por los gobiernos federales en turno, que han establecido diferentes estímulos para la atracción de la inversión extranjera directa (IED). (Economista, 2022)

En 2017 la industria automotriz mexicana contribuyó con 2.9 por ciento del producto interno bruto (PIB) nacional y 18.3 por ciento del PIB manufacturero. Durante 17 años ininterrumpidos (de 2000 a 2017) fue el principal receptor de IED, recibiendo un total de 60 677 000 dólares en ese período, de los cuales, 63.5 por ciento fue en partes y componentes, y el restante 36.4, en la fabricación de automóviles y camiones. (AMIA, 2018).

Además de esta relevante importancia económica, la industria automotriz ha contribuido de manera sustancial en la generación de empleos en el país. El Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) reportó que en 2017 el personal ocupado de la industria automotriz fue conformado por 824 000 personas, de las cuales, 710 000 fueron obreros y 114 000, empleados. (AMIA, 2018)

Si bien la industria automotriz en México es competitiva por sus bajos costos laborales, esto obedece, en general, a la desregulación del mercado de trabajo, al debilitamiento de la representación laboral de los trabajadores y a la dinámica económica del país en cuanto al salario mínimo, el cual, en teoría, depende de la productividad laboral. Aunque la productividad en México ha crecido gradualmente en los últimos años, la evolución del salario ha sido casi nula.

## Importancia de México como país manufacturero

La República Mexicana es conocida mundialmente por ser un país manufacturero, es decir, se encarga de transformar la materia prima en bienes o productos como actividad económica, por lo que aquí se incluyen desde pequeños talleres y fábricas hasta grandes maquinarias o industrias automatizadas. México es un país con una economía diversificada, pero la manufactura es uno de sus principales sectores económicos y ha sido un motor importante del crecimiento económico del país.

La Organización Mundial del Comercio (OMC) lo sitúa como uno de los mayores exportadores de manufactura en el continente a pesar de que países como Brasil y Canadá tienen una industria igual o más desarrollada que la mexicana, pero siguen siendo superados por ésta en materia de exportación. (OMC, 2019)

Los datos de la OMC indican que en 2019 el país exportó el equivalente a 864 millones de dólares en mercancías, de las cuales 44 millones pertenecían al



sector manufacturero. Es decir, la importancia de este sector es vital en la economía mexicana, según la OMC en los últimos 10 años México ha sido de los pocos países que han subido de posición en la clasificación de los 20 principales comerciantes de mercancías y servicios del 2019. En otras palabras, México es el mayor exportador en el sector manufacturero del continente americano, excluyendo a Estados Unidos de América. (OMC, 2019)

En 2018, el INEGI cuenta con datos de que al menos **6,493,020** personas trabajan en este sector económico del país y en febrero de 2022 con los resultados de la Encuesta Mensual de la Industria Manufacturera (EMIM) mostraron que el personal ocupado total del sector manufacturero se incrementó 0.4% en el primer trimestre del año, lo que es equivalente a **9.3** millones de trabajadores. (Department, 2023)

En cuanto al número de establecimientos dedicados a este sector en la república sigue aumentando año con año, como se puede ver en el siguiente gráfico del año 2018 (INEGI, 2018)

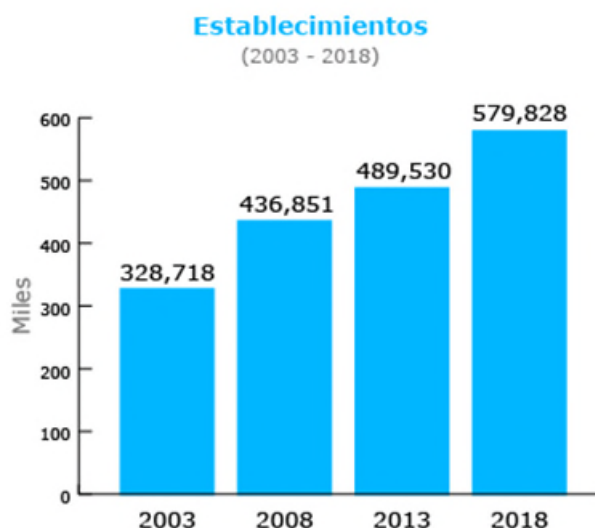


Figura 6. Gráfica de Establecimientos.

Si comparamos este grupo con los demás sectores de la economía, la manufactura tendría el tercer puesto por todas las personas que trabajan en esta, donde es común que el número de hombres sea mayor al de las mujeres. Lo cual la vuelve una de las razones por la cual el país es considerado manufacturero a nivel mundial.

El país cuenta con una ubicación geográfica estratégica, lo que lo convierte en un centro de producción importante para el mercado estadounidense y

latinoamericano. Además, cuenta con una fuerza laboral capacitada y competitiva, y ha implementado políticas gubernamentales que han fomentado la inversión en el sector manufacturero. México es un país atractivo para la producción por las siguientes razones:

1. Tratados de libre comercio: México cuenta con una red de tratados de libre comercio con más de 40 países, lo que facilita el comercio y la inversión extranjera en el país.
2. Mano de obra calificada y competitiva: México tiene una fuerza laboral joven y altamente capacitada, con una gran cantidad de profesionales en áreas técnicas y de ingeniería, lo que hace que el país sea atractivo para la producción de bienes y servicios de alta calidad.
3. Costos competitivos: los costos de producción en México son relativamente bajos en comparación con otros países desarrollados, lo que hace que sea atractivo para la producción de bienes de consumo y servicios.
4. Políticas gubernamentales: el gobierno mexicano ha implementado políticas que fomentan la inversión extranjera, como incentivos fiscales y facilidades para la instalación de empresas, lo que ha atraído a un gran número de empresas extranjeras.

La diversificación económica de México se debe a una combinación de factores, como la variedad de recursos naturales, la geografía y clima, la historia, las políticas gubernamentales y las relaciones comerciales, que han permitido la producción de diferentes bienes y servicios y han contribuido al crecimiento económico del país. (INEGI, 2022)

### Importancia de la industria automotriz en el país

La industria automotriz en México es un sector económico de gran importancia que genera empleo, contribuye al PIB, impulsa las exportaciones, atrae inversión extranjera, desarrolla proveedores y fomenta la tecnología y la innovación en el país.

La industria automotriz es uno de los principales sectores generadores de empleo en México. Se estima que emplea a alrededor de 1.8 millones de personas en todo el país, incluyendo empleos directos e indirectos en la manufactura, ensamblaje, proveeduría, logística y servicios relacionados.

Además, es un importante motor de exportaciones. El país es uno de los mayores exportadores de vehículos a nivel mundial, principalmente a Estados Unidos y Canadá, pero también a otros mercados internacionales. Las exportaciones automotrices representan una parte significativa del total de exportaciones de México, lo que contribuye a generar divisas y fortalecer la balanza comercial del país.

Es uno de los pilares de la economía mexicana, contribuyendo significativamente al Producto Interno Bruto (PIB) del país. Se estima que representa alrededor del 3.8% del PIB nacional, esto convierte a la industria automotriz en una fuente importante de ingresos para el país.

Así mismo, ha atraído una considerable inversión extranjera directa a México en los últimos años. Numerosas empresas automotrices internacionales han establecido plantas de producción y ensamblaje en México, lo que ha generado una importante inversión en infraestructura, tecnología y capacitación de la fuerza laboral.

Esto de la mano con una amplia base de proveedores nacionales que abastecen a las empresas automotrices instaladas en el país. Esto ha fomentado la creación de una cadena de suministro local robusta, generando oportunidades de negocio y empleo para empresas nacionales en la manufactura de autopartes y componentes, lo que ha contribuido a la transferencia de conocimiento y desarrollo tecnológico en el país. Esto ha mejorado la competitividad del sector y ha promovido la innovación en áreas como la movilidad eléctrica, la conectividad y la automatización de la producción.

Debido al considerable impacto de la energía solar, es una tarea fundamental cuyo acceso sea de forma segura y a un precio reducido para garantizar el éxito de su implementación en proyectos de inversión dentro de la industria automotriz. En la búsqueda para revertir esta situación, los avances tecnológicos se han convertido en un gran aliado y hoy la energía solar se presenta como la fuente de generación más competitiva del mercado.

El aprovechamiento de la energía solar para generar electricidad a través de la tecnología fotovoltaica puede dividirse en dos grandes rubros: proyectos de generación a gran escala y sistemas fotovoltaicos de pequeña y mediana escalas, distribuidos en los lugares de consumo.

Los proyectos solares a gran escala se desarrollan principalmente para suministrar los requerimientos de energía por parte de empresas de generación como la CFE, y por parte de grandes consumidores de energía. El desarrollo de estos proyectos requiere un mayor periodo de financiamiento y es necesario contemplarlos en la planeación de la expansión de todo el sector energético.

En 2016, 25% de la capacidad de generación de electricidad estuvo basada en fuentes limpias de energía; la energía solar representó una fracción muy pequeña de ese porcentaje, con una capacidad instalada de 270 MW -- 0.38% del total de la capacidad instalada a nivel nacional—. Durante 2015 la generación de electricidad a partir de sistemas fotovoltaicos ascendió a 190 GWh -- 0.06% de la generación total del SEN.

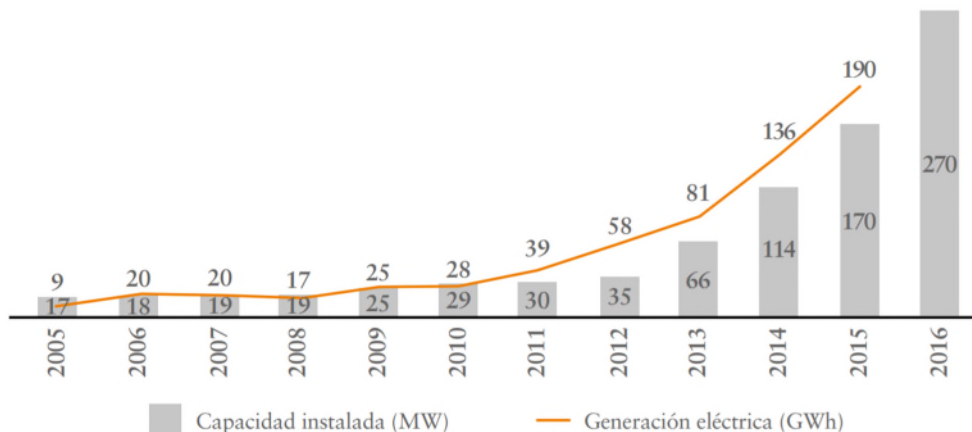


Figura 7. Gráfica capacidad instalada vs generación eléctrica. (Rodríguez Suarez, Espinoza Navarrete, Rosenbuch, & Ortega Navarro, 2017)

La producción de energía eléctrica mediante la instalación a gran escala de sistemas fotovoltaicos solares emerge como un componente esencial en la estrategia para cumplir los objetivos de generación energética limpia en México. Junto con la energía generada a partir de fuentes eólicas, la energía solar fotovoltaica se presenta como uno de los factores clave en la búsqueda de las metas de sostenibilidad energética que el país se ha propuesto alcanzar. (Rodríguez Suarez, Espinoza Navarrete, Rosenbuch, & Ortega Navarro, 2017)

La industria en México se sitúa como el segundo mayor consumidor de energía en el país, representando el 31.4% del consumo total en 2015. A pesar de que el uso de energía solar en este sector ha registrado un aumento ligeramente progresivo y no se han establecido programas específicos para su promoción, la tecnología solar comienza a destacarse con vitalidad y a generar un creciente interés como una fuente confiable de calor a costos estables. Se la considera una alternativa efectiva para reducir la dependencia de combustibles fósiles y mitigar la emisión de gases de efecto invernadero.

De acuerdo con la base de datos consolidada de proyectos de energía solar térmica para procesos industriales, desarrollada bajo el Grupo de Trabajo 49/IV de la Agencia Internacional de Energía (IEA), se han implementado en México al menos 28 proyectos de energía solar térmica en diversos subsectores industriales. Estos abarcan áreas como la agricultura, la minería de cobre, la producción de alimentos para mascotas,

la elaboración de productos lácteos, los alimentos procesados, la producción de bebidas, la manufactura de sustancias y productos químicos, el procesamiento y conservación de carne y derivados cárnicos, la elaboración de productos farmacéuticos y la fabricación de productos metálicos (excluyendo maquinaria y equipo). Estos proyectos no solo representan una adopción gradual de tecnologías más sostenibles, sino también un paso significativo hacia la diversificación energética y la reducción de la huella ambiental en el sector industrial. (Rodríguez Suarez, Espinoza Navarrete, Rosenbuch, & Ortega Navarro, 2017)

En relación con la industria automotriz, en un contexto global, las compañías fabricantes de vehículos están emergiendo como actores clave en la inversión en energías renovables. Muchas de ellas han incorporado la sostenibilidad como un componente fundamental en su enfoque empresarial. Tres tendencias primordiales están impulsando esta transformación: la implementación de regulaciones gubernamentales más estrictas que aceleran la transición hacia prácticas libres de emisiones de carbono, el aumento de la demanda por parte de los consumidores de vehículos ecológicos y procesos de fabricación sostenibles, y la creciente importancia de la reputación de las empresas manufactureras. (Portal Automotriz, 2022)

Resulta innegable que la industria automotriz, junto con sectores como la metalurgia, la producción de vidrio, la industria alimentaria y de bebidas, la celulosa y papel, y los textiles, contribuye significativamente a más del 50% de las emisiones totales de dióxido de carbono en el sector industrial. Esto se debe a la utilización de recursos energéticos en sus operaciones, como la electricidad y el gas en procesos como el enfriamiento, la calefacción de espacios, la preparación de agua y el tratamiento de superficies. (Portal Automotriz, 2022)

La incorporación de la energía solar en el ámbito automotriz emerge como una alternativa excepcional al alto consumo de combustibles fósiles. Este enfoque no solo conlleva beneficios económicos al reducir los gastos energéticos, sino también aporta estabilidad a los precios de la energía térmica. Además, esta transición presenta potenciales ventajas ambientales, incluida la drástica reducción de las emisiones de dióxido de carbono y la generación de empleos en el sector de energías renovables a nivel local. Estos aspectos contribuyen significativamente a elevar la percepción y la imagen de las compañías en términos de responsabilidad corporativa y sostenibilidad.

El cambio hacia fuentes energéticas renovables en la industria automotriz se ha arraigado con firmeza. Aquellos involucrados en este sector deben estar preparados para

adoptar tecnologías sostenibles a largo plazo y colaborar con proveedores comprometidos con la sostenibilidad, impulsando así la producción, la innovación y los beneficios económicos. Los fabricantes de automóviles que opten por esta transición experimentarán ventajas notables, incluyendo la reducción significativa de emisiones perjudiciales y la disminución de los costos relacionados con combustibles fósiles, contribuyendo de manera tangible a la agenda de recuperación ambiental. (Portal Automotriz, 2022).

BMW Group Planta San Luis Potosí ha realizado una inversión privada de 16,000 millones de pesos en la creación del proyecto "Paneles Solares y LTE BMW SLP". Este proyecto tiene como objetivo principal abastecer de energía eléctrica a la planta de fabricación. La electricidad generada será transmitida a través de una línea subterránea de transmisión que abarca una distancia de 6 kilómetros. Además, en un área extensa de 71,000 metros cuadrados, se están instalando paneles solares que se espera se conviertan en una fuente vital de energía para la fábrica. Esta iniciativa busca impulsar la sostenibilidad y la eficiencia energética.

El plan conlleva que la compañía alemana, ubicada en una extensión de 300 hectáreas dentro del Parque Industrial Logistik II, logre una producción anual de 150,000 vehículos de lujo. Entre los automóviles que se fabricarán destaca la séptima generación del modelo BMW Serie 3. Este vehículo será distribuido en diversas regiones, incluyendo México, Estados Unidos y Sudamérica. La iniciativa refleja el compromiso de BMW por implementar prácticas sustentables y por proveer vehículos de alta calidad en distintos mercados. (Industry, 2019)

## Distribución de la industria en el país

La distribución de la ingeniería automotriz en México se concentra principalmente en algunas regiones del país:

- **Bajío:** La región del Bajío, que incluye los estados de Guanajuato, Querétaro, Aguascalientes y San Luis Potosí, es una de las principales áreas de producción y manufactura de la industria automotriz en México. Muchas empresas automotrices internacionales, así como sus proveedores, han establecido plantas de producción en esta región, debido a su ubicación estratégica, infraestructura logística, acceso a mercados internacionales y mano de obra calificada.

- Norte de México: La región norte del país, que incluye los estados de Nuevo León, Coahuila, Chihuahua y Sonora, también es un importante polo de la industria automotriz en México. En esta región se encuentran diversas plantas de ensamblaje y producción de vehículos, así como centros de desarrollo de proveedores y tecnología automotriz.
- Centro: La Ciudad de México y sus alrededores también tienen una presencia significativa en la industria automotriz, con la presencia de oficinas corporativas, centros de investigación y desarrollo, y actividades relacionadas con la ingeniería y diseño automotriz.
- Occidente: El estado de Jalisco, en la región occidente de México, también ha experimentado un crecimiento en la industria automotriz, con la presencia de algunas plantas de ensamblaje y producción de vehículos, así como proveedores especializados en autopartes y componentes.
- Otros estados: Además de las regiones mencionadas, hay algunas otras áreas en México donde se encuentra la ingeniería automotriz, aunque en menor medida. Por ejemplo, el estado de Puebla es conocido por ser un importante centro de producción de vehículos pesados y autobuses, mientras que en el estado de Tamaulipas se encuentran algunas plantas de ensamblaje de vehículos ligeros.

A continuación, se tiene una vista general de la distribución de estas empresas en el territorio nacional (Secretaría de Economía, 2012):

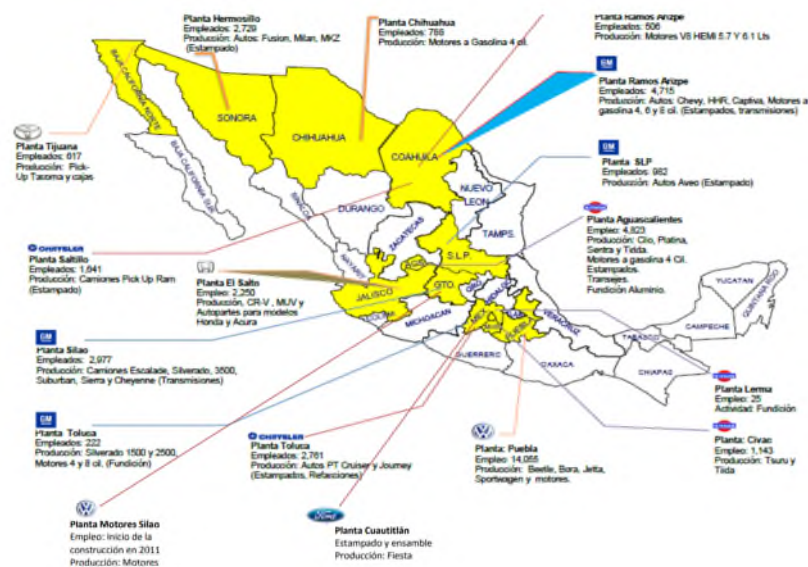


Figura 8. Localización de las Plantas de Vehículos Ligeros.





Figura 9. Localización de los Centros de Ingeniería y Diseño.

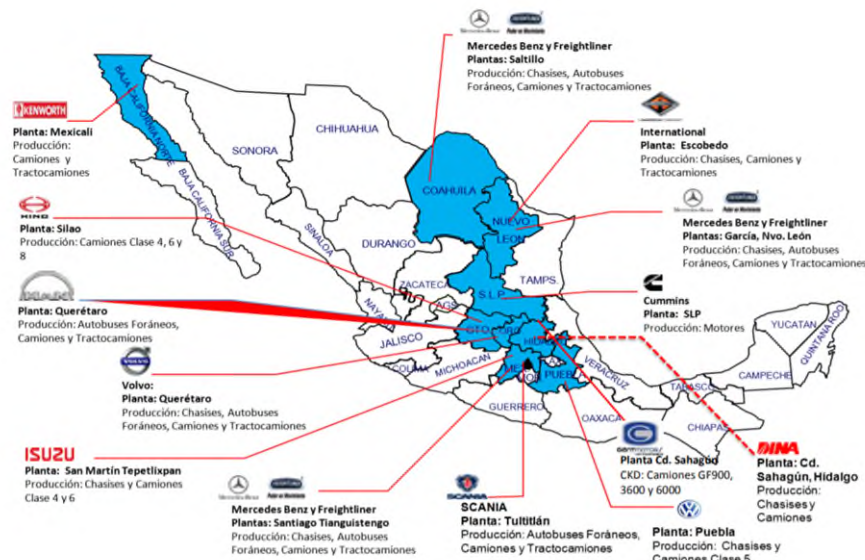


Figura 10. Localización de vehículos pesados.

Es importante tener en cuenta que la distribución de la ingeniería automotriz en México puede variar y evolucionar con el tiempo, ya que depende de factores como la inversión extranjera, la demanda del mercado, la disponibilidad de mano de obra calificada, la infraestructura logística y otros factores económicos y comerciales. Aunque en México existen algunas tendencias generales que han ido evolucionando a lo largo del tiempo. Algunas de las tendencias más destacadas son:

**Descentralización geográfica:** Aunque la región del Bajío ha sido un importante centro de la industria automotriz en México en los últimos años, se ha observado una tendencia a la descentralización geográfica, con la apertura de nuevas plantas de ensamblaje y producción de vehículos en otras regiones del país, como el norte y el occidente. Esto se debe a la búsqueda de nuevas oportunidades de negocio, diversificación de riesgos y acceso a diferentes mercados y recursos.



**Clusters automotrices:** Se ha observado la formación de clusters automotrices en algunas regiones de México, donde se concentran varias empresas del sector automotriz, incluyendo fabricantes de vehículos, proveedores de autopartes, centros de investigación y desarrollo, y otros actores de la cadena de valor automotriz. Estos clusters se benefician de la proximidad geográfica, la colaboración y el intercambio de conocimiento entre las empresas, y la mejora en la eficiencia y competitividad del sector.

**Enfoque en vehículos eléctricos y tecnologías avanzadas:** Con la creciente demanda mundial de vehículos eléctricos y tecnologías avanzadas en la industria automotriz, México ha seguido esta tendencia y ha experimentado un crecimiento en la producción de vehículos eléctricos, híbridos y con tecnologías avanzadas, así como en la fabricación de componentes y sistemas relacionados. Esto ha llevado a la apertura de nuevas plantas y la inversión en investigación y desarrollo de tecnologías automotrices más limpias y eficientes.

**Desarrollo de proveedores locales:** La industria automotriz en México ha impulsado el desarrollo de proveedores locales, con un enfoque en la integración de la cadena de suministro regional. Muchas empresas automotrices internacionales han buscado establecer alianzas con proveedores locales para fortalecer su cadena de suministro, reducir costos y mejorar la competitividad. Esto ha llevado a un crecimiento en la presencia de proveedores automotrices locales en diversas regiones del país.

**Innovación y desarrollo de talento:** La industria automotriz en México ha fomentado la innovación y el desarrollo de talento, a través de la inversión en centros de investigación y desarrollo, la colaboración con universidades y la formación de profesionales especializados en ingeniería automotriz. Esto ha llevado a la generación de conocimiento local, la mejora de la competitividad y la atracción de inversión extranjera en tecnologías automotrices avanzadas.

El crecimiento de la industria automotriz en México en términos de distribución debe ser equilibrado y sostenible para garantizar un desarrollo económico y social a largo plazo. Para lograrlo, se requiere una distribución regional más amplia de la industria en todo el país, lo que permitiría aprovechar las ventajas competitivas de cada región y promover el crecimiento económico en zonas menos desarrolladas.

Esto implica la necesidad de promover una mayor diversificación geográfica de la industria automotriz, de manera que se reduzca la dependencia de los principales estados productores como el Estado de México, Guanajuato y Nuevo León.

La diversificación geográfica también podría aumentar la capacidad del país para enfrentar situaciones de crisis o desequilibrios económicos. Para lograr una distribución más equilibrada de la industria automotriz en México, se necesitaría invertir en infraestructura, capacitación y desarrollo de proveedores locales en diferentes regiones del país. Además, es importante fomentar la colaboración entre empresas y universidades para impulsar la innovación y el desarrollo tecnológico en la industria automotriz.

Actualmente, bajo la presencia de los gigantes del mundo automotriz se abre la oportunidad a las energías renovables en materia de generación de energía. Desde hace más de 15 años el consumo eléctrico ha ido al alza en este ramo debido al desarrollo tecnológico y de innovación. Podemos ver en la gráfica que en el año 2017 se consumieron 17.8 petajoules.

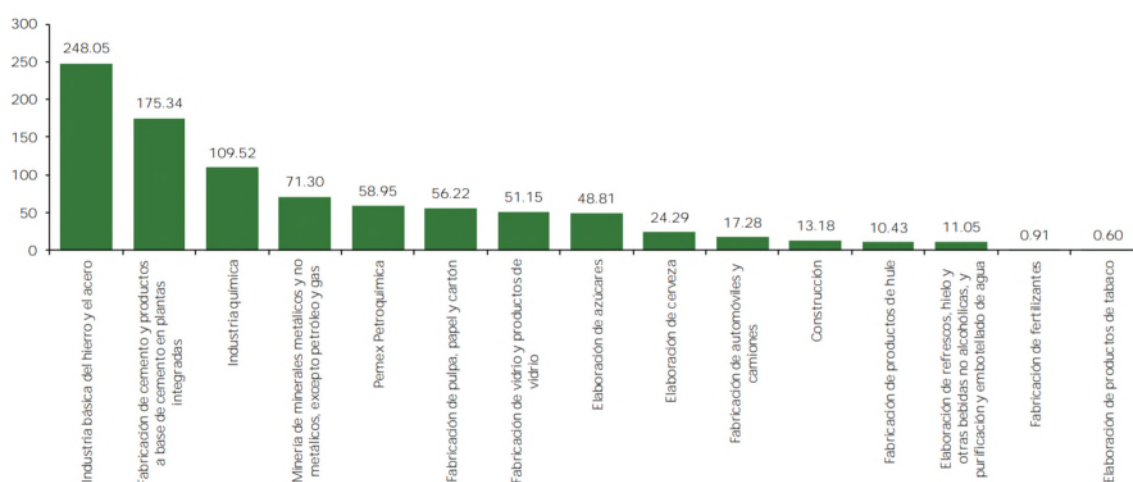


Figura 11. Gráfica del consumo energético de las principales ramas industriales. (Beltrán Rodríguez, y otros, 2018)

México necesita de las energías sustentables ante esta demanda eléctrica que sólo seguirá creciendo con el paso del tiempo. Según palabras del presidente de la AMIF (Asociación Mexicana de la Industria Fotovoltaica):

*“México es uno de los cinco países con mayor potencial en el mundo, pues la cantidad de energía solar promedio que se recibe en el país es de 5kWh por cada metro cuadrado al día, por lo que se estima que el potencial solar bruto en el país apenas se está comenzando a aprovechar”.*

*-Carlos Ortíz, presidente AMIF.*

Sí, México necesita de las energías sustentables para poder satisfacer la creciente demanda de energía eléctrica y a la vez, cumplir con los objetivos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y de transición a un modelo energético más limpio y sostenible.

La demanda de energía eléctrica en México ha venido en aumento en los últimos años debido al crecimiento económico y poblacional, lo que ha llevado a la necesidad de construir más infraestructura energética para satisfacer esta demanda. Sin embargo, gran parte de la energía eléctrica que se genera en México todavía proviene de combustibles fósiles, lo que contribuye significativamente a la emisión de gases de efecto invernadero y al cambio climático. (Beltrán Rodríguez, y otros, 2018)

El uso de energías sustentables, como la energía solar, puede ayudar a reducir la dependencia de los combustibles fósiles y a diversificar la matriz energética de México. Además, las energías renovables pueden generar empleos y fomentar el desarrollo económico en diferentes regiones del país, especialmente en zonas rurales y remotas.

## Uso de la energía solar en plantas automotrices.

El uso de energía solar en las plantas de las grandes automotrices no es novedad, desde hace años se han iniciado en el camino de convertir estas grandes armadoras en autosustentables con apoyo de las energías renovables y así ayudar al medio ambiente.

La energía solar se ha convertido en una fuente de energía cada vez más utilizada en las plantas automotrices para alimentar diversas operaciones y reducir la huella de carbono de la industria automotriz. Las plantas automotrices han instalado paneles solares en los tejados de los edificios de producción, así como en terrenos adyacentes a las instalaciones para aprovechar la energía del sol. Estos paneles solares pueden generar electricidad para alimentar las operaciones de la planta, incluyendo la iluminación, sistemas de climatización, maquinaria y equipos.

Pero hace tiempo no existían los mismos paneles que hoy en día, con eficiencias mayores al 22% ni la posibilidad de que fueran flexibles por lo que eran limitados fuertemente por el espacio, de ahí que las compañías compraron grandes extensiones de terreno del tamaño de varias decenas de campos de fútbol y en algunos casos la extensión territorial no era mayor a la cantidad de paneles necesarios.

En el año 2013, SEAT colocó cerca de 53,000 paneles solares en su fábrica de Martorell, Barcelona. Con una extensión equivalente a 400 campos de fútbol, la construcción es sin duda una de las más grandes del mundo y en palabras de la empresa, la planta se ha convertido en la mayor de placas fotovoltaicas, con

instalaciones en las cubiertas de talleres y campanas de almacenamiento, ahorrando 7.000 toneladas de CO<sub>2</sub> anuales (SEAT, 2022).



Figura 12. *Fábrica de Martorell.*

Otro caso similar ocurrió en Sunderland, en donde, la fábrica de Nissan Motor Corporation colocó 37.000 paneles solares para expandir su granja solar y así aumentar la generación de energía eléctrica y cubrir el 20% de las necesidades energéticas de la ensambladora.

En México, la planta de BMW en San Luis Potosí tiene como objetivo lograr la neutralidad en términos de carbono para el 2030, por ello la planta que cuenta con 71,000 m<sup>2</sup> de paneles solares que dan la suficiente energía para cubrir el 13% de su consumo en sitio, para generar el 26% de ahorro se necesitan 210,000 m<sup>2</sup> de paneles, en donde la planta está trabajando actualmente para ampliar su capacidad y llegar a los números para el 2030 (BMW GROUP, 2021).



Figura 13. *Paneles Solares en Planta BMW San Luis Potosí.*



Figura 14. *Planta BMW San Luis Potosí.*

Lamentablemente estos casos son aislados, no abundan plantas alimentadas por energía solar en el mundo, es aquí donde México tiene una área de oportunidad importante, más allá de la ubicación geográfica y el hecho que sea un país manufacturero, se tiene talento proveniente de las universidades del país. Esto ha logrado que las empresas como Stellantis, BMW, Nissan, Ford y General Motors, apuesten por la inversión en el país.

Existen vehículos que son manufacturados en el país como lo es el serie 3 de BMW, la Mach E de Ford o la Promaster de RAM, por lo que se deben ocupar en aprovechar las nuevas tecnologías y espacios de la república para desarrollar o actualizar las fábricas automotrices.

El uso de la energía solar en plantas automotrices puede tener varios beneficios, tanto para el medio ambiente como para la economía de la empresa. A continuación, se presentan algunas formas en que se puede utilizar la energía solar en una planta automotriz:

**Generación de energía eléctrica:** La energía solar puede utilizarse para generar energía eléctrica, que puede ser utilizada para alimentar las instalaciones de la planta, así como para alimentar los equipos y maquinarias utilizados en el proceso de fabricación de los vehículos. Esto puede ayudar a reducir los costos de energía de la empresa y a disminuir la dependencia de los combustibles fósiles.

**Iluminación:** La energía solar también puede utilizarse para alimentar la iluminación de la planta, lo que puede ayudar a reducir el consumo de energía eléctrica y los costos de operación.

**Refrigeración:** En las plantas automotrices, se utilizan grandes cantidades de energía para refrigerar los equipos y maquinarias utilizados en el proceso de fabricación. La energía solar puede utilizarse para alimentar los sistemas de refrigeración, lo que puede ayudar a reducir los costos de energía de la empresa.



**Estaciones de carga de vehículos eléctricos con energía solar:** Con el aumento de la demanda de vehículos eléctricos, algunas plantas automotrices han instalado estaciones de carga de vehículos eléctricos alimentadas con energía solar en sus instalaciones. Estas estaciones de carga utilizan paneles solares para generar electricidad renovable que se utiliza para cargar los vehículos eléctricos fabricados en la planta, así como los vehículos de los empleados y visitantes. De esta forma, se puede reducir la huella de carbono de los vehículos, así como fomentar el uso de vehículos eléctricos en la empresa.

**Uso de energía solar en la producción de componentes:** Algunas plantas automotrices también utilizan la energía solar en la producción de componentes para vehículos, como la fabricación de baterías para vehículos eléctricos. La energía solar se puede utilizar para alimentar los procesos de producción, como la fabricación de celdas de batería y la carga de maquinaria utilizada en la producción de componentes.

**Integración de sistemas de almacenamiento de energía:** Algunas plantas automotrices también han integrado sistemas de almacenamiento de energía, como baterías, en sus instalaciones solares. Estos sistemas de almacenamiento de energía permiten almacenar la energía generada por los paneles solares durante los períodos de baja demanda y utilizarla cuando se necesita, lo que ayuda a optimizar el uso de la energía solar y garantiza un suministro constante de electricidad.

**Programas de compra de energía renovable:** Algunas plantas automotrices también participan en programas de compra de energía renovable, donde adquieren energía solar y otras formas de energía renovable de fuentes externas. Esto les permite utilizar energía solar incluso si no tienen instalaciones solares en sus propias instalaciones, lo que ayuda a reducir su huella de carbono y apoyar la transición a fuentes de energía más limpias.

El uso de la energía solar en las plantas automotrices ha evolucionado de diversas maneras, desde la instalación de paneles solares en tejados y terrenos, la alimentación de estaciones de carga de vehículos eléctricos, la integración de sistemas de almacenamiento de energía, hasta la participación en programas de compra de energía renovable. Esto ha ayudado a reducir la dependencia de fuentes de energía no renovable y a mitigar el impacto ambiental de la industria automotriz.

## Generalidades de espacio y uso de paneles solares

Las generalidades del espacio y uso de paneles solares varían dependiendo de varios factores, como el tamaño del sistema solar, la ubicación geográfica, la

orientación e inclinación de los paneles, y los requerimientos de energía de la instalación.

Los paneles solares necesitan espacio para ser instalados y colocados de manera adecuada para recibir la luz del sol. El espacio requerido depende del tamaño del sistema solar y la potencia de los paneles. Por lo general, se necesitará un área abierta, sin sombras y con acceso a la luz solar durante la mayor parte del día para obtener un rendimiento óptimo. En algunas instalaciones, los paneles solares se instalan en los techos de los edificios, en terrenos adyacentes o en estructuras de montaje en el suelo. La orientación y la inclinación de los paneles solares son importantes para optimizar su rendimiento. En el hemisferio norte, lo ideal es que los paneles solares estén orientados hacia el sur y con una inclinación que se ajuste a la latitud de la ubicación para recibir la mayor cantidad de luz solar a lo largo del año. Sin embargo, dependiendo de la ubicación y los objetivos de la instalación, los paneles solares también pueden ser instalados en otras orientaciones e inclinaciones.

Estos requieren un mantenimiento periódico para asegurar su funcionamiento eficiente. Esto puede incluir la limpieza regular de los paneles para eliminar la acumulación de suciedad y polvo, la inspección de los componentes eléctricos y la detección de posibles problemas de funcionamiento. Además, en algunas ubicaciones, puede ser necesario tener en cuenta factores climáticos como la acumulación de nieve o la resistencia al viento al diseñar e instalar los paneles solares.

Es importante dimensionar el sistema solar de acuerdo con los requerimientos de energía de la instalación para asegurar un suministro adecuado de energía. La instalación de paneles solares está sujeta a regulaciones y permisos locales, que pueden variar dependiendo de la ubicación geográfica. Es importante familiarizarse con las regulaciones y obtener los permisos necesarios antes de la instalación de los paneles solares en una planta automotriz u otra instalación.

Debido a la variedad de paneles solares como lo son el monocristalino y policristalino, además de las dimensiones particulares de cada marca, abordaremos de forma general las necesidades de espacio y uso en la instalación de los diferentes paneles solares para la generación de energía eléctrica.

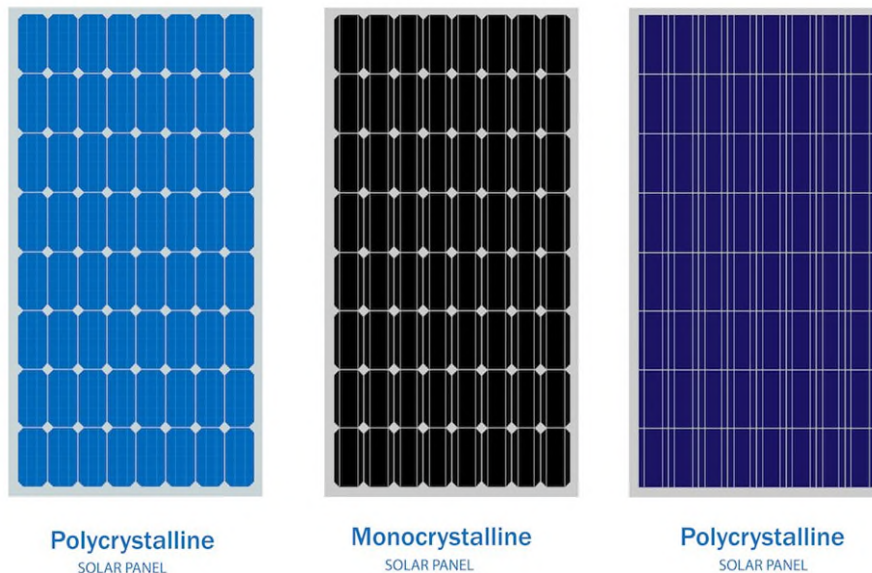


Figura 15. *Tipos de paneles solares* (EcolInventos, 2023).

Primeramente, un tamaño mayor en una placa solar no es el equivalente a que esta sea mejor, existen factores que nos ayudan a elegir entre un tipo de panel solar u otro según las necesidades particulares de cada propiedad, como lo son las siguientes:

- La ubicación y orientación de la instalación de los paneles.
- El consumo anual de electricidad en la propiedad.
- La superficie disponible en la propiedad.
- La potencia del panel solar.

Dicho esto, colocar un panel según la necesidad se vuelve más sencillo, pero aún no abordamos las generalidades de espacio, lo cierto es que no hay medidas estándar para los paneles, pero sí hay un tamaño promedio según el número de celdas que los componen (EnchufeSolar, 2023):

- Tamaño común, 60/120 celdas.
- Tamaño mayor, 72/144 celdas.
- Tamaño más grande, 132/156 celdas.



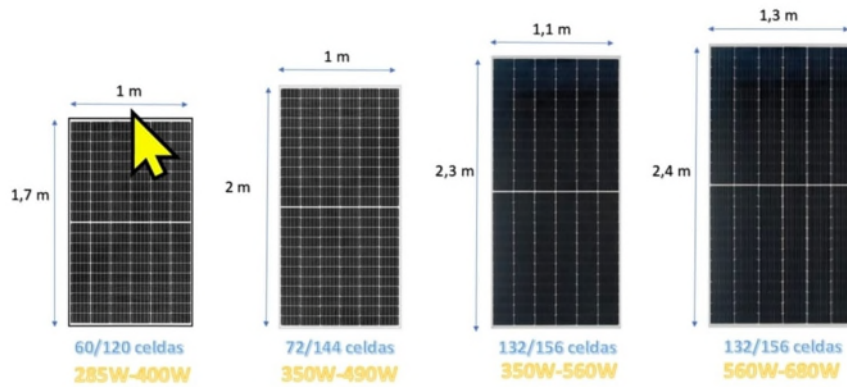


Figura 16. *Tamaño de paneles solares promedio* (EnchufeSolar, 2023).

Para fines de esta investigación teniendo en cuenta su eficiencia de 22.8%, sobreponiéndose a la competencia en el mercado solar, tomamos como referencia al panel fotovoltaico de la marca SunPower, el Maxeon 6 de 440 W de potencia y así calcular el número de paneles necesarios según el consumo, cuenta con las siguientes medidas (SUNPOWER, 2022):

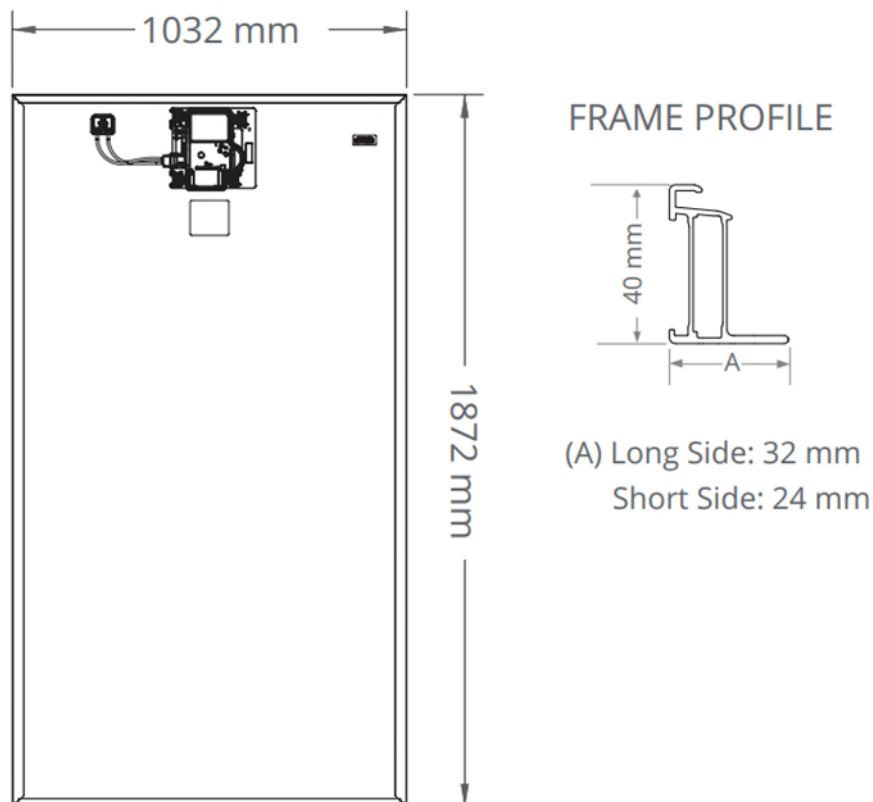


Figura 17. *Tamaño del panel Maxeon 6* (SUNPOWER, 2021).

El promedio de consumo por propiedad en México es de \$507 MXN al mes según la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH) 2020, lo que es aproximadamente 514 [kWh] al mes de consumo eléctrico. Por doce meses del año, estamos hablando de casi 6000 [kWh] al año. Con ello podemos calcular el número de paneles solares por vivienda promedio en México:

$$\frac{6000[kWh]}{440[kWh]} = 13.6 = 14 \text{ paneles solares de la marca}$$

Ecuación 1. Cálculo de número de paneles.

Tomando como ejemplo la planta de BMW en San Luis Potosí, esta se abastece con 71,000 m<sup>2</sup> de paneles solares que proporcionan el 13% de la energía necesaria para el funcionamiento completo de la planta, es decir, que se necesitan cerca de 546, 153 m<sup>2</sup> para un abastecimiento del 100% o bien, cerca de 283, 000 paneles solares de la marca SunPower Maxeon 6. Esto es un aproximado, necesitamos el consumo exacto anual de la planta en kWh para tener un resultado aproximado más preciso. Ya que, dependiendo del consumo, dividido entre el potencial del panel, podríamos tener mucho menos cantidad de paneles (SUNPOWER, 2021).

En la industria automotriz los procesos que utilizan mecanismos de calentamiento en forma sustancial son: tratamiento previo de pintura, fijado de pintura y secado de la misma todo ello a través de agua, vapor y aire. Numerosas investigaciones han concluido que existe un enorme potencial del uso de la energía solar para calentar fluidos como el agua o aire.

Automóvil	Pretratamiento de pintura	40-50	Agua
	Cocción de pinturas	175-225	Vapor
	Secado de pintura	150-175	Aire

Tabla 3. Procesos en la industria automotriz.

Si bien lo anterior se ha utilizado principalmente en industrias de alimentos, textiles, papel, plásticos, industria farmacéutica y procesos químicos (K. Sharma, Sharma, C. Mullick, & C. Kandpal, 2017) es un hecho que es deseable incorporarlo sustancialmente a los procesos de calentamiento de fluidos para el caso de las industrias automotrices. En los de calentamiento, el calor se produce por medios de

corrientes eléctricas o campos electromagnéticos y esa energía es transferida al material directa o indirectamente.

El espectro de fuentes de energía utilizadas varía de cada región a otra o de cada industria a otra. Lo anterior depende de la disponibilidad de combustibles fósiles, así como de las opciones tecnológicas disponibles para el proceso de calentamiento. Según la Agencia Internacional de Energía, la demanda industrial de energía es cubierta predominantemente con combustibles fósiles. Es necesario y urgente encontrar otras fuentes alternas para detener los impactos negativos que han originado el cambio climático por el uso irracional de combustibles fósiles. Mientras la eficiencia energética se incrementa se pueden tener beneficios sustanciales adicionales en la incorporación de fuentes de energía renovables.

La solar es una de las fuentes energéticas sustentables y limpias aceptada como una alternativa promisoría para la generación de potencia y aplicaciones térmicas tanto en el sector doméstico como en el industrial. La conversión de energía solar en energía térmica tiene una eficiencia mucho mayor (alrededor del 70%) comparada con la eficiencia de producción de electricidad a partir de energía solar. De esta manera el uso de energía solar para calentamiento en procesos industriales es una de las opciones más prometedoras para cubrir la demanda de energía industrial en países importadores de petróleo.

La selección adecuada de la tecnología de colectores solares para el proceso de calentamiento de agua que demanda la industria depende principalmente de cuatro factores: i) temperaturas de operación; ii) eficiencia de los colectores solares; iii) rentabilidad anual de energía y iv) costos. Otros factores como la disponibilidad de espacios y la posibilidad de integración con otras fuentes de energía son también importantes. Los costos son un factor decisivo que puede ser atractivo para inversiones. (K. Sharma, Sharma, C. Mullick, & C. Kandpal, 2017).

En el caso particular de los fabricantes de vehículos puede reducir significativamente las emisiones y la dependencia de combustibles fósiles con la combinación de tecnologías de colectores solares. Destacan en este rubro la utilización de los siguientes (INDUSTRIAL SOLAR, 2023):

- Colectores Fresnel para la generación de vapor y energía en forma de calor a alta temperatura.
- Sistemas fotovoltaicos para la generación de energía eléctrica.
- Colectores solares térmicos para aplicaciones de baja temperatura.
- Bombas de calor.

- Enfriadoras de absorción.
- Sistemas de calefacción eléctrica.
- Unidades de recuperación de calor residual.

## Uso de energía solar a largo plazo

La energía solar es una fuente de energía renovable e inagotable. El sol es una fuente de energía natural que no se agotará con el tiempo, a diferencia de los recursos fósiles como el petróleo, el gas natural o el carbón, que son finitos y se están agotando rápidamente.

El uso de la energía solar a largo plazo contribuye a la sostenibilidad y a la protección del medio ambiente, ya que no produce emisiones de gases de efecto invernadero ni otros contaminantes atmosféricos, lo que ayuda a combatir el cambio climático y reduce la contaminación del aire y del agua.

Aunque la instalación inicial de sistemas de energía solar puede tener un costo significativo, a largo plazo, el uso de la energía solar puede resultar en ahorros económicos. Una vez que los sistemas de energía solar están instalados y funcionando, la energía solar es gratuita y no está sujeta a las fluctuaciones de precios de los combustibles fósiles. Esto puede ayudar a los consumidores, empresas e incluso a los gobiernos a reducir los costos de energía a lo largo del tiempo, lo que puede tener un impacto positivo en las finanzas a largo plazo. (IRENA, 2019)

La preocupación por lo que sucede con los paneles solares al final de su vida útil ha aumentado en los últimos años, y esto está relacionado con el impacto financiero a largo plazo del uso de la energía solar. Aunque la energía solar tiene muchos beneficios, como la sostenibilidad y el ahorro económico a largo plazo, es importante tener en cuenta el manejo adecuado de los paneles solares al final de su vida útil para evitar posibles costos adicionales.

El ciclo de vida de los paneles solares puede oscilar entre 25 y 30 años o más, pero eventualmente llegarán a su fin de vida útil y requerirán ser reemplazados o desechados. El manejo adecuado de los paneles solares al final de su vida útil es importante para garantizar que no se conviertan en una carga financiera adicional.

Esto implica la disposición adecuada y segura de los paneles solares, ya sea a través de su reciclaje o disposición en vertederos autorizados, de acuerdo con las regulaciones y normativas locales. Es importante considerar estos aspectos en la planificación financiera a largo plazo al implementar sistemas de energía solar. Los costos asociados con el retiro y disposición adecuada de los paneles solares al final

de su vida útil deben ser tenidos en cuenta en el análisis financiero, para evitar sorpresas inesperadas en el futuro.

En este sentido, es fundamental que las empresas, consumidores y gobiernos consideren planes de gestión de residuos y reciclaje adecuados para los paneles solares al final de su vida útil. Esto puede incluir la adopción de prácticas de diseño sostenible en la fabricación de paneles solares, la promoción de programas de reciclaje y la colaboración con instaladores y fabricantes para asegurar una disposición adecuada de los paneles solares al final de su vida útil.

El problema de la eliminación de los paneles solares comenzará en unas décadas cuando lleguen al final de su vida útil ya que a medida que crezca el mercado mundial de sistemas fotovoltaicos, aumentará el número de paneles fotovoltaicos.

La Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) estimó en 2016 que había unas 250.000 toneladas de residuos solares en todo el mundo a finales de ese año. IRENA predice que este número podría alcanzar los 78 millones de toneladas para 2050 (IRENA, 2016).

Desde principios del siglo XXI, la popularidad de las tecnologías fotovoltaicas (PV) ha crecido a un ritmo sin precedentes. La creciente cantidad de residuos fotovoltaicos es un nuevo desafío para el medio ambiente, pero también una oportunidad para crear valor y encontrar nuevas oportunidades económicas. Una transición energética rápida puede impulsar el crecimiento económico, salvar millones de vidas y, combinada con la eficiencia energética, ayudar a limitar el aumento de la temperatura global a 2°C según el Acuerdo de París.

Sin embargo, para lograr este objetivo, el despliegue de energía renovable debe ser seis veces más rápido y, por supuesto, los paneles solares al final de su vida útil deben cuidarse, ya que presentan desafíos de gestión de desechos únicos junto con flujos de desechos.

Para un tratamiento de residuos óptimo para diferentes tipos de productos fotovoltaicos, se debe tener en cuenta la composición de los paneles fotovoltaicos. Los paneles solares se pueden clasificar según los tipos de tecnología presentados en la Tabla (Rodríguez Suarez, Espinoza Navarrete, Rosenbuch, & Ortega Navarro, 2017).

Technology		2014	2020	2030
Silicon-based (c-Si)	Monocrystalline	92%	73.3%	44.8%
	Poly- or multicrystalline			
	Ribbon			
	a-Si (amorph/micromorph)			
Thin-film based	Copper indium gallium (di)selenide (CIGS)	2%	5.2%	6.4%
	Cadmium telluride (CdTe)	5%	5.2%	4.7%
Other	Concentrating solar PV (CPV)	1%	1.2%	0.6%
	Organic PV/dye-sensitised cells (OPV)		5.8%	8.7%
	Crystalline silicon (advanced c-Si)		8.7%	25.6%
	CIGS alternatives, heavy metals (e.g. perovskite), advanced III-V		0.6%	9.3%

Based on Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems (ISE) (2014), Lux Research (2013) and author research

Tabla 4. Tipos de tecnología en paneles solares.

Esto nos guía a las responsabilidades en materia de gestión de residuos al final de su vida útil. Las cuales podrían resumirse de una manera breve en 3 tipos principales:

### **Sociedad.**

Como comunidades e individuos podemos dar un soporte de gestión al final de la vida útil de los paneles solares que utilizamos, las instituciones estatales pueden sancionar y administrar las actividades financiadas con impuestos. Esto puede generar ingresos para los municipios y eliminar los costos fijos de construir una nueva infraestructura de recolección al mismo tiempo que proporciona economías de escala. Las desventajas incluyen la falta de competencia y una optimización de costos más lenta.

### **Productor.**

La gestión del final de la vida se basa en el principio de responsabilidad extendida del fabricante. Esto obliga a los fabricantes a ser física y financieramente responsables del impacto ambiental de sus productos hasta el final de su ciclo de vida, crea un incentivo para desarrollar productos limpios y con un menor impacto ambiental.

Este principio también puede utilizarse para financiar sistemas adecuados de recogida, tratamiento, reciclaje y eliminación. Si bien los fabricantes financian el sistema de gestión de residuos, los costos adicionales pueden trasladarse a los consumidores en forma de precios más altos.

Las oportunidades de creación de valor existen en todos los segmentos de la cadena de valor fotovoltaica, incluido el final del ciclo de vida. La estructura de la economía circular (*cradle to cradle*) y los principios clásicos de reducción de residuos 3R (reducir, reutilizar y reciclar) también se pueden aplicar a los paneles solares.

### **Reducción de residuos.**

La opción preferida es reducir el material de los paneles solares, aumentando así la eficiencia. El fuerte crecimiento del mercado, la escasez de materias primas y

la presión a la baja sobre los precios de los paneles solares están impulsando la producción en masa para que sea más eficiente, usar menos materiales, sustituya materiales y utilice otras tecnologías. Por ejemplo, se han explorado y se siguen explorando los ahorros en materiales e incluso la sustitución del plomo, el cadmio y el selenio, además de reducir la cantidad de materiales peligrosos.

En cuanto a otros materiales utilizados en diversas tecnologías de paneles solares, la investigación se ha centrado principalmente en minimizar su número por panel para reducir costos. El consumo general de materiales escasos y valiosos aumentará a medida que evolucione el mercado fotovoltaico y la disponibilidad y el precio impulsarán los esfuerzos de mitigación y reemplazo.

El método ambientalmente preferido es restaurar un panel al final de su vida útil y hacerlo reciclable. Para recuperar parte del valor de los paneles devueltos por la reventa, se deben realizar pruebas cualitativas, principalmente pruebas de seguridad eléctrica y potencia de salida. Los ejemplos incluyen el rendimiento de la prueba flash y la prueba de fugas húmedas.

Cuando es necesario y reparable, estos suelen incluir la instalación de un nuevo marco, una nueva caja de conexiones, el reemplazo de diodos, nuevos enchufes y enchufes, y más. Los paneles fotovoltaicos reacondicionados se pueden revender para reemplazarlos.

Otra opción es el reciclaje, que se puede contratar fácilmente para desmontar, embalar, enviar y reciclar piezas o sistemas completos. Los servicios de desmantelamiento y recolección para el transporte a la planta de tratamiento generalmente se organizan durante el proceso de licitación del contratista y serán supervisados y realizados por trabajadores calificados.

El proceso de licitación puede implicar el desmantelamiento de toda la planta o parte de ella, dependiendo de cómo se utilizará el sitio más adelante. Se puede suponer que entonces se aplicarán estándares de calidad relativamente altos. Se almacenarán por separado los elementos de la instalación fotovoltaica: tableros, cables, electrónica (inversores, reguladores de carga, transformadores, electrónica de control, etc.), metálica (aluminio, acero), etc. Hay una gran cantidad de residuos fotovoltaicos en el mercado mundial de residuos, pero no hay suficientes incentivos económicos para establecer plantas de reciclaje dedicadas a los paneles fotovoltaicos. Como resultado, los paneles solares usados a menudo se reciclan en las instalaciones de reciclaje generales existentes.

Aquí, la atención se centra en la separación mecánica de los principales componentes y materiales de los paneles solares. Recientemente, han surgido sistemas de reciclaje de células solares y esquemas de control para regular la eliminación de células solares al final de su vida útil. Algunos países y regiones están a la vanguardia, como la Unión Europea. Ha pasado mucho tiempo desde la introducción de tecnologías ecológicas y económicas y la política de gestión de desechos electrónicos. Con esta experiencia, es hora de comenzar a diseñar estos sistemas para residuos fotovoltaicos en muchos países.

Para 2050, los paneles fotovoltaicos se convertirán en la segunda fuente de electricidad más importante después de la energía eólica y allanará el camino para la transformación de la industria eléctrica mundial. Los paneles fotovoltaicos generarán una cuarta parte (25%) de la electricidad total que se necesita en el mundo, lo que los convierte en una de las fuentes más importantes de generación de electricidad para 2050.

Tal transformación sólo será posible cuando los recursos de energía solar aumenten significativamente. Para ello, es necesario multiplicar la capacidad del sistema fotovoltaico por casi seis veces en los próximos 10 años, pasando de 480 GW en 2018, a 2840 GW en 2030 y a 8519 GW en 2050.

Las tecnologías de primera generación siguen siendo el principal impulsor del desarrollo de la energía solar y aún representan la mayor parte del valor de mercado. Las tecnologías paralelas y de perovskita también ofrecen perspectivas interesantes, aunque todavía hay algunos obstáculos a largo plazo que superar. La aparición de nuevas arquitecturas celulares ha ayudado a lograr un mayor nivel de eficiencia.

En particular, los cambios más importantes del mercado en la arquitectura de paneles solares están impulsados por celdas y módulos de doble cara, impulsados por la creciente adopción de arquitecturas avanzadas como generadores pasivos y celdas traseras (PERC) y su compatibilidad con otras innovaciones emergentes.

Esto solo se puede lograr si se relajan las barreras existentes en varios sectores (regulatorio, de mercado, económico, tecnológico, regulatorio, político y social). La integración y la flexibilidad de la red, las economías de escala, el acceso a la financiación, la falta de estándares y medidas de garantía de calidad y la conciencia del consumidor son algunas de las barreras clave que pueden impedir el despliegue de la energía fotovoltaica en las próximas tres décadas.

Aunque el uso de la energía solar a largo plazo puede tener un impacto positivo en las finanzas, es importante abordar también la preocupación por el manejo



adecuado de los paneles solares al final de su vida útil. Una planificación adecuada y la implementación de prácticas de gestión de residuos y reciclaje adecuadas pueden garantizar que los beneficios financieros y ambientales de la energía solar se mantengan a lo largo del tiempo.

## Perspectivas del uso de la energía solar en México en plantas automotrices

México es una economía líder en América Latina con una gran población, vasto territorio y abundantes recursos naturales. El consumo de energía del país es el segundo más grande de la región, lo que lo convierte en un mercado prometedor para las inversiones en energía. El Sistema Nacional de Energía en México atiende a más de 120 millones de usuarios y cuenta con una red que conecta nueve regiones, incluyendo un sistema interconectado con Estados Unidos. Si bien el consumo nacional bruto del Sistema Eléctrico Nacional (SEN) disminuyó 2,76% en 2020 debido al COVID-19, la tasa de crecimiento promedio de la última década es de 2,2%, con una expectativa de aumento de aproximadamente 500.000 GWh para 2035.

El SEN de México cuenta actualmente con una capacidad instalada de aproximadamente 89,479 MWh, y solo 29,443 MW de esta capacidad provienen de fuentes de energía renovable (ER). Sin embargo, México tiene el potencial de generar 280 TWh de ER para 2030 (IRENA, 2014), con energía eólica y solar como algunas de sus principales fuentes, como lo indica la hoja de ruta de energías renovables para México, según el reporte REmap 2030. Para lograr la transición energética y aumentar la participación de las ER en la capacidad energética total instalada, México cuenta con nueva legislación y políticas energéticas.

Estas políticas se rigen por la Ley de Transición Energética, la Ley de la Industria Eléctrica y la Ley de Hidrocarburos, entre otras normativas relevantes. El propósito de la primera es regular el uso sostenible de la energía y establecer responsabilidades en materia de Energías Limpias y la reducción de emisiones contaminantes en la industria eléctrica sin afectar en la competitividad de los sectores productivos (Diario Oficial de la Federación, 2015).

Ahora bien, el cambio climático está provocando condiciones meteorológicas extremas en todo el mundo, que afectarán en breve a los suministros de alimentos y agua. Una transición energética hasta 2050, según el modelo energético global de la

Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA), sugiere que para ese año el 86% de la generación eléctrica será renovable, y el 60% provendrá de energía solar y eólica

Sin embargo, el gobierno busca aumentar la participación de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) en la generación de energía, lo que podría retrasar el desarrollo de proyectos de energías renovables. El Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (PRODESEN 2021-2035) tiene como objetivo la reactivación y el desarrollo de las plantas de la CFE, garantizar el acceso universal a la electricidad y cumplir con los compromisos ambientales internacionales mediante el aumento de la generación de energía limpia en el país. A pesar de que las tecnologías de energía solar y eólica son las más prometedoras, se necesitan análisis exhaustivos y modelos geoespaciales para determinar la viabilidad y la rentabilidad de los proyectos (Portillo, 2017).

Además, la irradiación solar promedio en el centro de México es de 6.16 kWh/m<sup>2</sup>/día, según los datos de las estaciones meteorológicas automáticas. Gracias a un artículo sobre la energía solar en el centro de México, (Hernández Escobedo & Franco Piña, 2022) los datos sobre radiación solar por meses del año se muestran en la siguiente imagen.

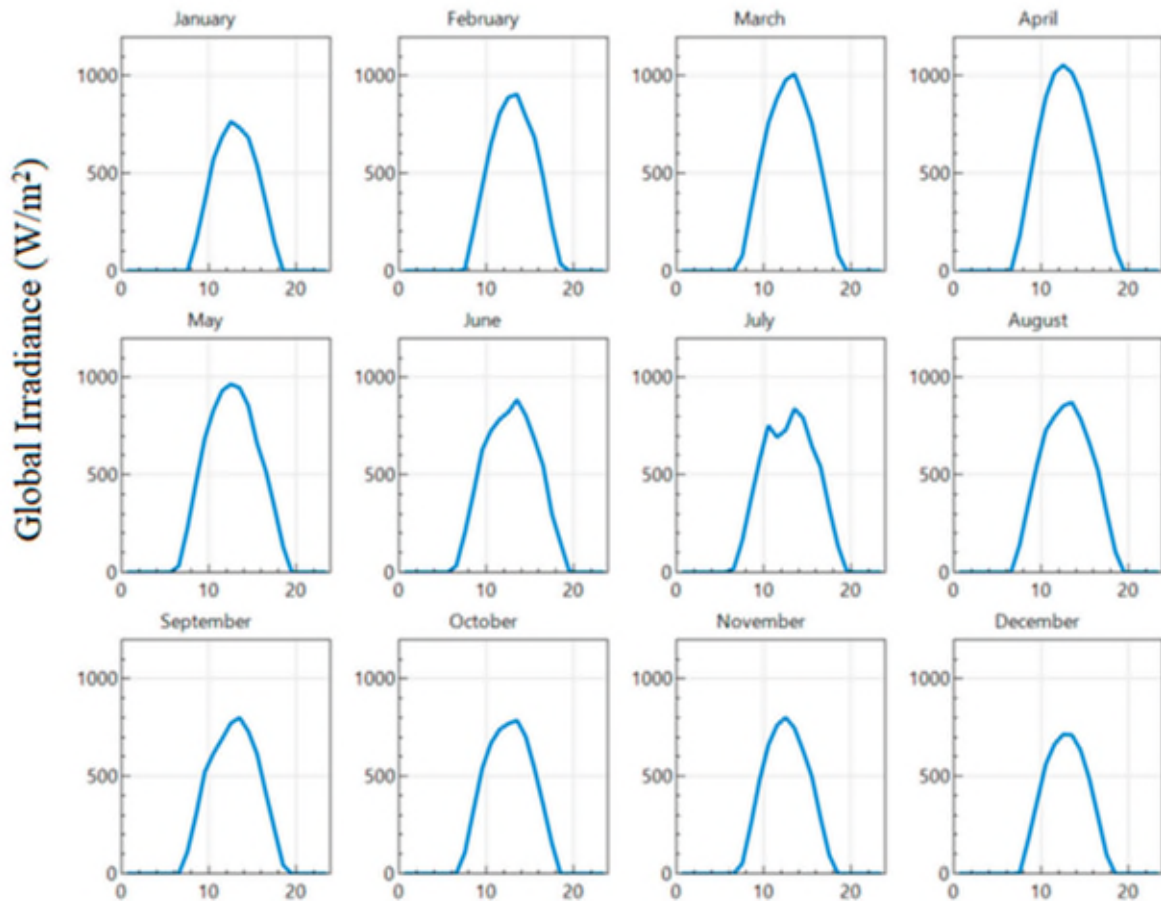


Figura 18. Promedio de radiación solar en México. (Hernández Escobedo & Franco Piña, 2022)

En México, los meses más calurosos del año son en marzo, abril y mayo. Durante estos meses, principalmente en las regiones costeras, al norte e interior del país pueden llegar a ser bastante altas, alcanzando valores superiores a los 30 grados Celsius.

Un mapa del mismo artículo muestra que los niveles de irradiación solar más altos se encuentran en Querétaro, el sur de Guanajuato, la Ciudad de México, Hidalgo, Estado de México y Morelos, con una irradiación promedio global entre 5.60-5.89 kWh/m<sup>2</sup>/día. Los datos de irradiación solar pueden ser utilizados para determinar las áreas con mayor potencial solar para la instalación de paneles fotovoltaicos y focos de atención para el futuro desarrollo de proyectos solares. Si se instalaran 1000 paneles fotovoltaicos de 300 W de capacidad cada uno, se tendría una capacidad de 300 kW, lo que significa que con una irradiación solar de 7.17 kWh/m<sup>2</sup>/día en mayo, se podrían producir 2151 kWh.

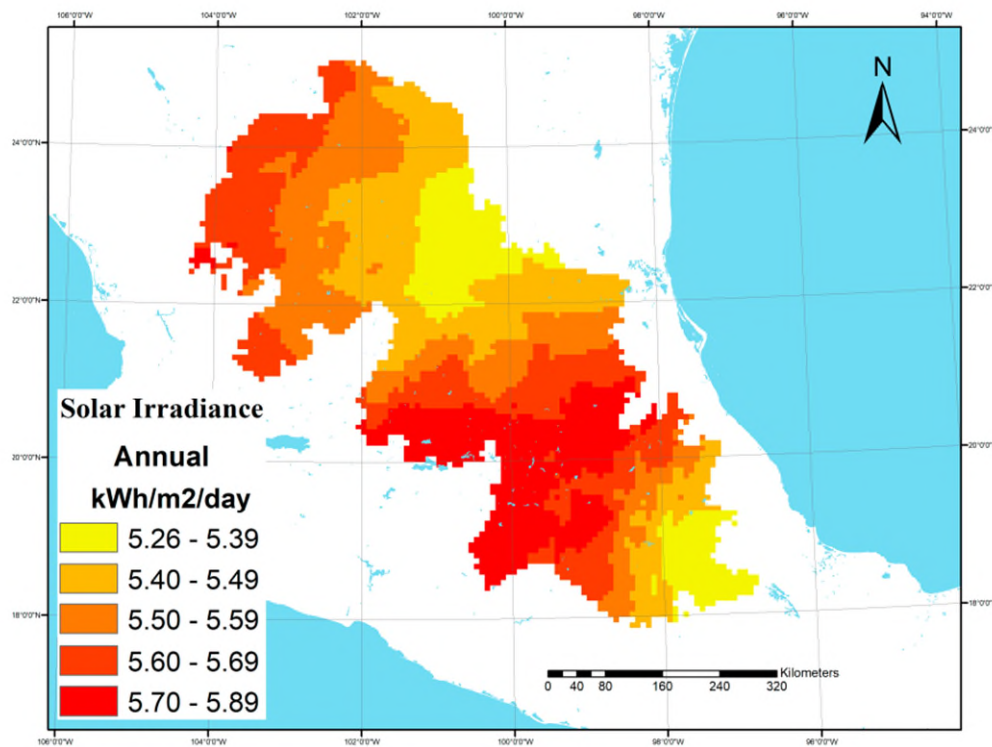


Figura 19. *Radiación solar anual.*

Se ha demostrado que en México Central existe un gran potencial eólico y solar y que para el 2030, hasta el 46% de su capacidad instalada podría provenir de fuentes renovables. Sin embargo, debido a la naturaleza intermitente del viento y el sol, es esencial estudiar la ubicación más adecuada para estos sistemas y explorar una variedad de posibles alternativas para encontrar la mejor solución para todos los criterios relacionados.

Los estados con el mayor potencial de irradiación solar son Guanajuato, Querétaro, Hidalgo, Ciudad de México, Morelos, Aguascalientes y Zacatecas, los cuales pueden producir suficiente energía eléctrica para satisfacer la población.

Tanto el gobierno, como la academia se beneficiarán de estos hallazgos, ya que el gobierno promueve el uso de energías renovables en México, y la academia puede utilizar los mapas de recursos solares y eólicos para desarrollar proyectos de investigación y desarrollo (I+D).

Debido a que, en los países en vías de desarrollo como México, los principales desafíos energéticos nacen de una alta dependencia de fuentes de energía tradicionales. De ahí que se requiera una gran cantidad de información y diversas herramientas para analizar diferentes aspectos y lograr resultados necesarios para el proceso de planificación.

Además, el crecimiento demográfico y el deseo de mejorar la calidad de vida en la población ha aumentado el consumo de energía per cápita de forma constante

en estas últimas décadas. Como resultado, la demanda de energía se ha multiplicado enormemente y ya no puede ser satisfecha únicamente con tecnologías energéticas ineficientes.

Estos proyectos de I+D esperan desarrollar modelos energéticos para una planificación, pronóstico y optimización eficientes de las fuentes de energía. Según un artículo publicado en la *Renewable and Sustainable Energy Review* (A review of energy models, 2006). La experiencia de la India en la última década ha demostrado que las tecnologías energéticas descentralizadas basadas en recursos locales pueden ser alternativas viables para muchas fuentes comerciales de energía en diversos usos energéticos. Los modelos se han convertido en herramientas estándar en la planificación energética, y se han realizado esfuerzos significativos en los últimos años para formular e implementar estrategias de planificación energética en los países en desarrollo. Se han desarrollado metodologías apropiadas para realizar encuestas energéticas y estimar los requisitos sectoriales de energía útil.

En el mismo artículo del 2006, se han revisado modelos energéticos que consideran varios factores importantes en la utilización de energía. Estos están basados en la reducción de emisiones, redes neuronales, modelos de optimización, de pronóstico y de oferta-demanda. En los modelos de programación lineal utilizan múltiples variables como función objetivo y restricciones. También se han observado diferentes tipos de modelos que se adaptan a distintos horizontes temporales. Estos modelos ayudan a comprender las interacciones entre energía y economía y permiten la planificación y predicción futura. Además, se deben analizar factores clave para la utilización de energías renovables, y se sugiere el uso de redes neuronales y lógica difusa en la predicción y asignación energética. Esto demuestra que existen diversos modelos y herramientas utilizados en la industria y la investigación para la gestión eficiente de la energía solar.

Hoy en día las empresas automotrices tienen una responsabilidad muy importante con el medio ambiente y los recursos que consumen para la fabricación masificada de vehículos eléctricos y de combustión interna. Sus desafíos y objetivos no se tratan de un tema nuevo o innovador, si no de la lucha por el cambio climático.

Por ello, la elección del modelo más recomendado dependerá de varios factores, como los objetivos específicos del proyecto, la disponibilidad de datos y recursos computacionales, así como las preferencias y experiencia de la compañía. Es importante considerar las características y limitaciones de cada uno de los modelos antes de seleccionar el más adecuado. Se recomienda consultar a expertos

en el campo de la energía solar y continuar con la revisión de literatura científica y técnica más actualizada para obtener información sobre los modelos más recomendados en el momento actual.

La energía solar privilegiada que tiene el país puede facilitar los procesos industriales que vive una línea de ensamble y los cuales requieren energía eléctrica para su funcionamiento. De forma general podemos listar estos procesos como se muestra a continuación (Corna, s.f):

1. Estampado: Aquí se fabrican las piezas en diferentes líneas de producción como por ejemplo pisos, costados, puertas, tapas, y toldos que forman las carrocerías de cada uno de nuestros modelos
2. Carrocerías: Las piezas son ensambladas hasta formar una carrocería completa.
3. Pintura: Una vez que las carrocerías han sido ensambladas, pasan al área de pintura donde se coloca el pretratamiento, esmalte, el barniz, etc.
4. Montaje: Es el proceso de ensamble final, en el cual a las carrocerías ya pintadas se les integran el resto de los elementos que componen un automóvil
5. Pruebas: La fase final en el proceso de producción de un automóvil donde se valoran aspectos mecánicos, eléctricos y de *performance*.

Aunque también podemos encontrar algunas otras actividades que son propias de una planta automotriz o edificio de ingeniería (Corna, s.f):

1. Motores: Principalmente se maquinan las piezas para la construcción de motores.
2. Ejes: Se producen componentes para la suspensión del automóvil.
3. Manejo de Piezas: La mayoría de las piezas individuales que integran un automóvil es manufacturada en diferentes plantas o fábricas especializadas. Compras, logística y almacén son los encargados de tener un inventario suficiente y constante de todas las piezas, para posteriormente clasificarlas y distribuirlas en las diferentes estaciones de trabajo.

El aprovechamiento de la energía solar para la generación de energía eléctrica dentro de los procesos de una planta generaría ahorros importantes en la industria, esto de la mano de un modelo adecuado. Poder lograr, aunque sea uno de los procesos mencionados alimentado 50/50, es decir, 50% energía solar y 50% consumo eléctrico de la red, supondría un ahorro a largo plazo para las grandes automotrices. Estos costos se pueden ejemplificar para el caso de la energía solar fotovoltaica, teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- Tipo de Panel: Existen muchas marcas de paneles en diferentes tamaños, calidad y potencias diferentes para cada uso. Teniendo en cuenta que entre mayor sea la potencia de este mejor será su eficiencia para generar energía eléctrica.
- Incentivos fiscales: El gobierno de la república mexicana tiene preparados incentivos que buscan ayudar a las personas y empresas que quieren invertir en energías renovables bajo la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección del Ambiente (LGEEPA). Esta nos dice en su artículo 22 Bis:

*“ARTÍCULO 22 Bis. Se consideran prioritarias, para efectos del otorgamiento de los estímulos fiscales que se establezcan conforme a la Ley de Ingresos de la Federación, las actividades relacionadas con:*

*I.- La investigación científica y tecnológica, incorporación, innovación o utilización de mecanismos, equipos y tecnologías que tengan por objetivo evitar, reducir o controlar la contaminación o deterioro ambiental, así como el uso eficiente de recursos naturales y de energía;*

*Fracción reformada DOF 29-05-2012.*

*II.- La investigación e incorporación de sistemas de ahorro de energía y de utilización de fuentes de energía menos contaminantes”.*

- (Nación, 1988)

Por lo que la implementación de paneles solares cumple con el punto del artículo al incorporar tecnologías y sistemas de ahorro de energía menos contaminantes. Lo cual apoya al ahorro a largo plazo respecto a la inversión inicial.

- Ubicación de la instalación: Hemos hablado a lo largo de este trabajo el privilegio geográfico que tiene México respecto a otras naciones. Según la International Renewable Energy Agency (IRENA, 2015), México se encuentra entre 15° y 35° de latitud, región considerada la más favorecida en recursos solares, donde se recibe diariamente, en promedio, 5.5 Kwh/m2.

Aun así, hay que tener en cuenta otro factor importante para medir la viabilidad económica de los paneles son las condiciones del sitio o edificio donde se instalarán: el espacio disponible en el techo, el material del que está hecho y el tipo de techo, así como si tiene suficiente estructura de soporte. para soportar el peso de los paneles. En promedio, la instalación de 1 metro cuadrado de celdas solares pesa 20 kg.

- Consumo y tarifa de luz: El consumo de energía eléctrica por parte de la industria automotriz en el país equivale al 2% del total, cerca de 5,099 GWh en 2020. Por lo que cada empresa tiene un consumo de energía diferente a lo

largo del año, sin embargo, es importante conocer y tener los registros del consumo anual de energía eléctrica si se desea cubrir una parte o la totalidad con energía solar fotovoltaica.

CFE administra diferentes tarifas según el destino de la energía eléctrica, la intensidad del consumo y la ubicación geográfica. Estos costos pueden variar dependiendo la época del año por lo que identificar qué tarifa se aplica y cómo afecta el consumo, puede ayudar a identificar si los paneles solares son la mejor alternativa.

En el pasado, tener una instalación de paneles solares era una inversión más fuerte que el día de hoy, los precios estaban disparados y el beneficio respecto al consumo con CFE no era notorio o no lo había. Hoy en día, con los paneles solares más económicos, las formas de calcular el recibo de luz se basan en el consumo y no en la demanda, los precios de la electricidad han aumentado en la última década, y la inflación anual promedio nacional es del 10%, agregamos el tema de que podemos ahorrar casi toda la factura, y finalmente hay un crédito fiscal del 30% del costo del sistema, deducción. Por lo que el retorno de la inversión en algunas partes del país el tiempo fue incluso menos de 4 años. Existen diferentes tarifas en el sector industrial (CFE, s.f):

- GDMTO: Gran demanda media tensión ordinaria, con una demanda contratada de menos de 100 kW.
- GDMTH: Gran demanda media tensión horaria, con una demanda contratada igual o mayor a 100 kW.

Y dentro de los cargos que se encuentran están:

- Transmisión: Este es el precio por transportar o trasladar la energía desde las plantas de generación hasta las redes que la distribuyen.
- Distribución: Con este término, se define el costo por adquirir energía y usarla en una empresa a través de la CFE.
- Operación del CENACE: Depende de la energía que pasa por el Mercado Eléctrico Mayorista (MEM).
- Capacidad: La tarifa por la demanda.

Las tarifas industriales de una empresa determinarán su ahorro en energía eléctrica. Por ejemplo, en el caso de GDMTH, sus grandes ahorros ocurrirán cuando los niveles de radiación solar sean más altos. El uso de paneles solares industriales no solo reduce las facturas de energía que paga una gran planta industrial, sino que también reduce los cargos de distribución,



transmisión y energía a medida que se reduce la demanda máxima de kW. Por lo tanto, con estas tarifas se pueden lograr ahorros de hasta un 80% en el sector industrial.

- **Mantenimiento:** Los paneles solares están diseñados para estar en el exterior y soportan las condiciones climáticas de la república mexicana, sin embargo, darles un mantenimiento correcto ayuda a conservar los paneles por mucho más tiempo y alcanzar el final de su vida útil con buenos niveles de eficiencia. Muchas empresas ofrecen el servicio de mantenimiento y limpieza del sistema solar fotovoltaico. Es recomendable realizarlos una o dos veces al año, para que además revisen todas las conexiones, la estructura y el rendimiento del sistema, garantizando su funcionamiento óptimo.

Las perspectivas del uso de energía solar en México son favorables debido al potencial en el ahorro de energía eléctrica, la ubicación geográfica privilegiada y los diversos incentivos fiscales. El crecimiento continuo de la energía solar en el país puede contribuir a la diversificación de la matriz energética, reducir la dependencia de los combustibles fósiles y promover la sostenibilidad ambiental dentro de la industria.

En México la utilización de recursos renovables es una necesidad imperiosa que no puede postergarse ante el constante incremento de las tarifas de electricidad; además, las empresas y la sociedad buscan opciones de generación de energía, como la solar, que les permitan disminuir gastos y ser más sostenibles.

El monitor de precios de generación solar distribuida en México reporta que de 2017 a 2020, los contratos de interconexión registrados, según la Comisión Reguladora de Energía (CRE), tuvieron una tasa de crecimiento de aproximadamente 21%, mientras que la capacidad instalada de generación distribuida aumentó a una tasa de 22% en el mismo periodo, lo que da cuenta del creciente interés de los mexicanos en hacer uso de la energía inagotable del Sol. (Magazine, 2022)

Son varios los factores que alientan a incorporar las energías renovables en nuestro país. De inicio, México presenta condiciones ideales para el aprovechamiento de la energía solar ya que la irradiación global media diaria en el territorio nacional es de alrededor de 6.36 kWh/m<sup>2</sup>, una de las mejores en el mundo. Así mismo la ley del ISR

contempla incentivos fiscales para las empresas que utilicen energías renovables, las tarifas de electricidad se reducen considerablemente, la eficiencia energética aumenta y la huella de carbono disminuye (Enlight, 2022).

En concreto, en la industria automotriz, a escala global los fabricantes de automóviles se han convertido en los nuevos inversores de energías renovables, y varios de ellos ha hecho de la sostenibilidad una parte fundamental de su estrategia empresarial.

## Conclusiones

La revisión del contexto actual del sector energético fotovoltaico de la industria automotriz en México ha demostrado que existe un gran potencial para la implementación de paneles solares en las plantas de fabricación de automóviles. Las empresas automotrices tienen una responsabilidad importante con el medio ambiente y el uso de la energía solar puede facilitar los procesos industriales que requieren energía eléctrica para su funcionamiento. La energía solar fotovoltaica puede generar ahorros significativos a largo plazo para las grandes automotrices y existen incentivos fiscales para apoyar la inversión en energías renovables. México tiene una ubicación geográfica privilegiada con recursos solares favorables para la implementación de paneles solares.

La inversión inicial en la instalación de paneles solares en las plantas automotrices en México puede requerir una inversión significativa. Sin embargo, a través del ahorro en costos de energía a largo plazo, es posible obtener un retorno de inversión (ROI) positivo en un período de tiempo razonable. Una adecuada planificación financiera puede ayudar a evaluar y estimar el ROI de la instalación de paneles solares en las plantas automotrices.

La implementación de paneles solares en las plantas automotrices en México puede ayudar a diversificar la fuente de energía utilizada, reduciendo la dependencia de los combustibles fósiles y contribuyendo a una mayor sostenibilidad ambiental. Esto puede tener beneficios a largo plazo en términos de estabilidad energética y mitigación de riesgos asociados con la volatilidad de precios de los combustibles fósiles.

La planificación financiera de paneles solares en las plantas automotrices en México debe tener en cuenta las regulaciones y políticas fiscales locales, incluyendo incentivos gubernamentales, créditos fiscales y otros beneficios que puedan estar disponibles para fomentar la adopción de energía renovable. Estos aspectos pueden

tener un impacto significativo en la viabilidad financiera de la implementación de paneles solares en las plantas automotrices. También es importante considerar la gestión adecuada del ciclo de vida de los paneles solares, incluyendo el mantenimiento, monitoreo y eventual reemplazo o disposición adecuada al final de su vida útil. Esto puede tener implicaciones financieras, y es necesario incluir estos costos en la planificación financiera a largo plazo.

En conclusión, se puede afirmar que la implementación de paneles solares en las plantas automotrices en México es una oportunidad importante para reducir el impacto ambiental y generar ahorros significativos en la industria automotriz.

# Referencias

- AMIA. (Noviembre de 2018). *INEGI*. Obtenido de [https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva\\_estruc/702825106829.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825106829.pdf)
- AQUAE. (24 de Noviembre de 2021). *AQUAE FUNDACIÓN*. Obtenido de <https://www.fundacionaquae.org/wiki/energia-solar-ventajas-desventajas/>
- Ballesteros, V. (Octubre de 2016). *Revistas Universidad Distrital*. Obtenido de <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/revcie/article/view/15348/15162>
- Beltrán Rodríguez, L., Alexandri Rlonda, R., Cafaggi Félix, F. d., Barrera Ríos, S., Hernández Miranda, B., & Guerrero Hernández, M. (2018). *SENER*.
- BMW GROUP. (7 de Junio de 2021). *BMW GROUP Planta San Luis Potosí*. Obtenido de <https://www.bmwgroup-werke.com/san-luis-potosi/es/noticias/pressreleases/2021/co2-neutrality.html>
- Bnamericas. (10 de julio de 2020). Obtenido de <https://www.bnamericas.com/es/reportajes/los-principales-10-proyectos-solares-y-eolicos-listos-para-su-construccion-en-mexico>
- Cervantes, P. T. (27 de diciembre de 2021). *Forbes*. Obtenido de <https://www.forbes.com.mx/energia-solar-avanza-hogares-pese-desden-gobierno/>
- CFE. (s.f). *GREENLUX*. Obtenido de <https://www.greenlux.com.mx/paneles-solares-monterrey/tarifas-cfe-para-casa-negocio-y-sus-costos/>
- Corna, N. C. (s.f). *STPS GOB*. Obtenido de [https://www.stps.gob.mx/DGIFT\\_STPS/PDF/Principales%20procesos%20y%20operaciones%20en%20la%20Ind%20Automotriz.pdf](https://www.stps.gob.mx/DGIFT_STPS/PDF/Principales%20procesos%20y%20operaciones%20en%20la%20Ind%20Automotriz.pdf)
- Department, S. R. (13 de Marzo de 2023). *Statista*. Obtenido de <https://es.statista.com/estadisticas/623122/variacion-del-personal-ocupado-del-sector-manufacturero-mexico-por-empleado/#:~:text=M%C3%A9xico%3A%20personal%20ocupado%20en%20la%20industria%20manufacturera%202005%2D2022&text=El%20personal%20ocupado%20del%20s>
- Diario Oficial de la Federación. (24 de Diciembre de 2015). *Diputados Gob*. Obtenido de <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LTE.pdf>

Dyson. (2023). *Dyson*. Obtenido de dyson: <https://www.dyson.com/newsroom/news/corporate/interview-aureus-system-technology-jda-2020>

EcolInventos. (12 de Agosto de 2023). *Green Technology*. Obtenido de <https://ecoinventos.com/tamanos-estandar-paneles-solares-fotovoltaicos/>

Economista, R. E. (24 de Marzo de 2022). *El Economista*. Obtenido de <https://www.economista.com.mx/empresas/Mexico-ocupa-la-posicion-7-entre-los-principales-productores-de-vehiculos-20220324-0047.html>

Ecosistemas del Sureste. (29 de Septiembre de 2015). *Ecosistemas del sureste*. Obtenido de <https://www.ecosistemasdelsureste.com/news/componentes-principales-de-una-instalacion-solar-fotovoltaica/>

EnchufeSolar. (2023). *Enchufesolar*. Obtenido de <https://enchufesolar.com/blog/el-tamano-de-los-paneles-solares/>

Endesa. (27 de Mayo de 2022). *Endesa*. Obtenido de Plantas solares flotantes: una alternativa para generar energía renovable.: <https://www.endesa.com/es/lacara-e/energias-renovables/plantas-solares-flotantes-alternativa-generacion-energia-renovable>

Enlight. (20 de Agosto de 2022). *Enlight*. Obtenido de Consumo energético en la producción automotriz en México: <https://www.enlight.mx/blog/consumo-energetico-en-la-produccion-automotriz-en-mexico>

Garza, J. I. (Agosto de 2020). *Crecimiento de nanoalambres de Si para implementar en celdas solares de alta eficiencia fotovoltaica*. Obtenido de <https://es.studenta.com/content/114480339/08-tmcie-2020-jeric-a-israel-barker-garza>

Google Culture. (2023). *Google*. Obtenido de <https://artsandculture.google.com/entity/m04yhcz3?hl=es>

HELIATEK. (2023). *Heliatek*. Obtenido de <https://www.heliatek.com/en/>

Hernández Escobedo, Q., & Franco Piña, J. A. (Diciembre de 2022). *ResearchGate*. Obtenido de GIS-Based Wind and Solar Power Assessment in Central Mexico: [https://www.researchgate.net/publication/366257964\\_GIS-Based\\_Wind\\_and\\_Solar\\_Power\\_Assessment\\_in\\_Central\\_Mexico](https://www.researchgate.net/publication/366257964_GIS-Based_Wind_and_Solar_Power_Assessment_in_Central_Mexico)

Iberdrola. (2023). *Iberdrola*. Obtenido de <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/que-es-energia-fotovoltaica>

INDUSTRIAL SOLAR. (2023). *RENEWABLES ONSITE*. Obtenido de <https://industrial-solar.de/es/aplicaciones-industriales/industria-automotriz/>

- Industry, M. (1 de Marzo de 2019). *Mexico Industry*. Obtenido de <https://mexicoindustry.com/noticia/bmw-group-planta-slp-colocar-paneles-solares-para-proveerse-de-energa>
- INEGI. (2018). *Cuéntame de México: Economía*. Obtenido de <https://cuentame.inegi.org.mx/economia/secundario/manufacturera/default.aspx?tema=e#:~:text=A%20nivel%20nacional%2C%20en%202018,mayor%20que%20el%20de%20mujeres>
- INEGI. (2020). *Cuéntame de México*. Obtenido de <https://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/vivienda.aspx?tema=P#:~:text=De%20acuerdo%20con%20el%20Censo,hay%2035%2C219%2C141%20viviendas%20particulares%20habitadas>
- INEGI. (20 de Abril de 2022). Obtenido de [https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2022/emim/emim\\_2022\\_04.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2022/emim/emim_2022_04.pdf)
- International Energy Agency (IEA). (2011). *Solar Energy Perspectives*. Obtenido de [http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/solar\\_energy\\_perspectives2011.pdf](http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/solar_energy_perspectives2011.pdf)
- IRENA. (Junio de 2014). *IRENA*. Obtenido de <https://www.irena.org/publications/2014/Jun/REmap-2030-Full-Report#:~:text=REmap%202030%20provides%20a%20plan%20to%20double%20the,in%20order%20to%20ensure%20a%20sustainable%20energy%20future>.
- IRENA. (Junio de 2016). *IEA (International Renewable Energy Agency)*. Obtenido de [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA\\_IEAPVPS\\_End-of-Life\\_Solar\\_PV\\_Panels\\_2016.pdf?rev=49a75178e38c46288a18753346fb0b09](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA_IEAPVPS_End-of-Life_Solar_PV_Panels_2016.pdf?rev=49a75178e38c46288a18753346fb0b09)
- IRENA. (Noviembre de 2019). *IRENA*. Obtenido de El Futuro de la energía solar fotovoltaica.: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Nov/IRENA\\_Future\\_of\\_Solar\\_PV\\_summary\\_2019\\_ES.pdf?la=en&hash=DE82F7DC53286F720D8E534A2142C2B8D510FB0B](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Nov/IRENA_Future_of_Solar_PV_summary_2019_ES.pdf?la=en&hash=DE82F7DC53286F720D8E534A2142C2B8D510FB0B)
- IRENA. (11 de Abril de 2022). *IRENA*. Obtenido de [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Apr/IRENA\\_RE\\_Capacity\\_Highlights\\_2022.pdf?la=en&hash=6122BF5666A36BECD5AAA2050B011ECE255B3BC7](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Apr/IRENA_RE_Capacity_Highlights_2022.pdf?la=en&hash=6122BF5666A36BECD5AAA2050B011ECE255B3BC7)

- José, J. (28 de Agosto de 2019). *Global Energy*. Obtenido de <https://globalenergy.mx/noticias/alternativas/mexico-uno-de-los-cinco-paises-con-mayor-potencial-de-energia-solar-en-el-mundo/>
- K. Sharma, A., Sharma, C., C. Mullick, S., & C. Kandpal, T. (Octubre de 2017). *ScienceDirect*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032117305610>
- Limón, R. (29 de Marzo de 2021). *El País*. Obtenido de <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>
- Lorenzo, J. A. (2015). *SUNFIELDS EUROPE*. Obtenido de <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/paneles-solares-rendimiento/>
- Magazine. (18 de Enero de 2022). *Revista Magazine*. Obtenido de <https://revistamagazine.com/proveedores/es-la-energia-solar-una-alternativa-para-la-industria-automotriz/>
- Mailoa, J. P. (2016). *Beyond the Shockley-Queisser Limit: Intermediate Band and Tandem Solar Cells Leveraging Silicon and CdTe Technology*. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology.
- Miranda, A. V. (2017). *UAEH*. Obtenido de <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/icea/n9/r6.html#:~:text=La%20industria%20automotriz%20comenz%C3%B3%20a,mientrasque%20las%20ventas%20se%20cubr%C3%ADan>
- Nación, D. O. (28 de Enero de 1988). *Diputados Gob*. Obtenido de <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGEEPA.pdf>
- Neumeier, M. (11 de Mayo de 2023). *Grupo MAE: Energías Renovables*. Obtenido de <https://maerenovables.com/precio-paneles-solares/>
- OMC. (2019). *Organización Mundial del Comercio*. Obtenido de [https://www.wto.org/spanish/res\\_s/statis\\_s/wts2019\\_s/wts2019\\_s.pdf](https://www.wto.org/spanish/res_s/statis_s/wts2019_s/wts2019_s.pdf)
- Palou, N. (23 de Septiembre de 2010). *Good Magazine*. Obtenido de <https://www.microsiervos.com/archivo/ecologia/energia-raudales-desde-sol.html>
- Petrarca, R. (3 de febrero de 2021). *RISAD Revista Internacional de Salarios Dignos*. Obtenido de <https://revistasinvestigacion.lasalle.mx/index.php/OISAD/article/view/3002/29>

Planas, O. (27 de Octubre de 2016). *ENERGÍA NUCLEAR*. Obtenido de <https://energia-nuclear.net/atomo/estructura/electron>

Porras, M. (29 de Mayo de 2020). *bright*. Obtenido de <https://www.thinkbright.mx/blog/los-paneles-solares-contaminan#:~:text=La%20fabricaci%C3%B3n%20de%20paneles%20solares,directa%20de%20los%20paneles%20solares>

Portal Automotriz. (18 de Enero de 2022). *Portal Automotriz.com*. Obtenido de <https://www.portalautomotriz.com/noticias/automotriz/la-energia-solar-en-2022-por-que-la-industria-automotriz-se-mueve-mejor-con>

Portillo, A. L. (2 de Junio de 2017). *CIEP*. Obtenido de Energía solar en México: su potencial y aprovechamiento: <https://ciep.mx/energia-solar-en-mexico-su-potencial-y-aprovechamiento/>

Regalado Pérez, E., N. R., M., & X., M. (15 de Junio de 2022). *Instituto de Energía Renovables*. Obtenido de [https://www.ier.unam.mx/noticias-ier/Superand\\_los\\_limites\\_de\\_las\\_celdas\\_solares.html](https://www.ier.unam.mx/noticias-ier/Superand_los_limites_de_las_celdas_solares.html)

Rodriguez Suarez, J. S., Espinoza Navarrete, E., Rosenbuch, J., & Ortega Navarro, H. O. (2017). *Gobierno de México*. Obtenido de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/428621/La\\_industria\\_solar\\_fv\\_y\\_ft\\_en\\_M\\_xico-compressed.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/428621/La_industria_solar_fv_y_ft_en_M_xico-compressed.pdf)

Salgado, R. A. (2017). *IINGEN Insituto de Ingeniería UNAM*. Obtenido de <http://www2.iingen.unam.mx/es-mx/BancoDeInformacion/BancodelImagenes/Documents/EnergiaSolarEnMexico2017.pdf>

SEAT. (2022). *SEAT S.A.*

Secretaria de Economía. (Marzo de 2012). *Economía*. Obtenido de [https://www.economia.gob.mx/files/comunidad\\_negocios/industria\\_comercio/Monografia\\_Industria\\_Automotriz\\_MARZO\\_2012.pdf](https://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/Monografia_Industria_Automotriz_MARZO_2012.pdf)

Silveira, D. P. (2017). *Instituto Tecnológico de la Producción (ITP)*. Obtenido de [https://www.itp.gob.pe/archivos/vtic/ACUICULTURA\\_002-2017/files/assets/downloads/page0007.pdf](https://www.itp.gob.pe/archivos/vtic/ACUICULTURA_002-2017/files/assets/downloads/page0007.pdf)

SUNPOWER. (2021). *MAXEON SOLAR TECHNOLOGIES*. Obtenido de <https://sunpower.maxeon.com/int/solar-panel-products/maxeon-solar-panels>

SUNPOWER. (Enero de 2022). *MAXEON SOLAR TECHNOLOGIES*. Obtenido de [https://sunpower.maxeon.com/int/sites/default/files/2022-03/sp\\_max6\\_66c\\_res\\_ac\\_ds\\_en\\_0.pdf](https://sunpower.maxeon.com/int/sites/default/files/2022-03/sp_max6_66c_res_ac_ds_en_0.pdf)



Svarc, J. (22 de Junio de 2022). *Clean Energy Reviews*. Obtenido de <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/most-efficient-solar-panels>