



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería
Área Académica de Ingeniería y Arquitectura

Configuración de un modelo de gestión de la cadena
de suministro para la energía fotovoltaica en México

TESIS

Que para obtener el grado de
Doctor en Ciencias en Ingeniería Industrial
Presenta

M en C. José Rogelio Efraín Escorcía Hernández

Director de Tesis

Dr. Oscar Montaña Arango

Co-director

Dr. Iván Erick Castañeda Robles

Cd. del Conocimiento, Mineral de la Reforma, Hgo., diciembre de 2022



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería

School of Engineering and Basic Sciences

Área Académica de Ingeniería y Arquitectura

Department of Engineering and Architecture

Número de control: ICBI-AAIyA/3857/2022

Asunto: **Autorización de impresión**

MTRA. OJUKY DEL ROCÍO ISLAS MALDONADO
DIRECTORA DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
PRESENTE.

El Comité Tutorial de **Tesis** del programa educativo de posgrado titulado "**Configuración de un modelo de gestión de la cadena de suministro para la energía solar fotovoltaica en México**", realizado por el sustentante **José Rogelio Efraín Escorcia Hernández** con **137099** perteneciente al programa de **Doctorado en Ciencias en Ingeniería Industrial**, una vez que ha revisado, analizado y evaluado el documento recepcional de acuerdo a lo estipulado en el Artículo 110 del Reglamento de Estudios de Posgrado, tiene a bien extender la presente:

AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Por lo que el sustentante deberá cumplir los requisitos del Reglamento de Estudios de Posgrado y con lo establecido en el proceso de grado vigente.

Atentamente

"Amor, Orden y Progreso"

Mineral de la Reforma, Hidalgo, a 18 de noviembre de 2022

El Comité Tutorial


Dr. Oscar Montañón Arango
Director


Dr. Iván Erick Castañeda Robles
Codirector


Dr. José Ramón Corona Armenta
Miembro del comité


Dr. Josefina Medina Marín
Miembro del comité



Ciudad del Conocimiento
Carretera Pachuca-Tulancingo km 4.5 Colonia
Carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo,
México. C.P. 42184
Teléfono: +52 (771) 71 720 00 ext. 4000, 4001
Fax 2109
aai_icbi@uaeh.edu.mx

www.uaeh.edu.mx

Dedicatorias

Dedico este trabajo a mi esposa Melina, por su apoyo y ánimo que me brinda día con día para alcanzar nuevas metas, tanto profesionales como personales, además de tenerme tanta paciencia, estar a mi lado en todo momento y por darme su amor todos los días, lo que me motiva a cumplir todo lo que me proponga.

A mis hijas Mariel y Romina sin los cuales este logro no se habría completado

Agradecimientos

*Le agradezco a **Dios** por haberme acompañado y guiado a lo largo del doctorado, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.*

Agradecimiento especial a mi director de tesis el Dr. Oscar Montaña Arango por todo el apoyo que me brindo desde el inicio del doctorado hasta su culminación de la obtención de la tesis.

A mi codirector de tesis el Dr. Ivan Erick Castañeda Robles por su apoyo en la elaboración de esta tesis.

Agradecimiento a mi Gran amigo el Dr. Heriberto García Islas por haberme apoyado incondicionalmente en los momentos que requerí para la culminación de esta tesis.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es identificar el estado actual de la cadena de suministro de la generación de electricidad a partir de la energía solar fotovoltaica y los factores que permitan configurar un modelo para México, para lo cual se llevó a cabo una investigación de tipo exploratoria, donde se desarrolló una búsqueda documental, consulta a expertos y estudios de campo, encontrándose que la cadena de suministro está constituida con eslabones desarticulados. Por lo que se desarrolló un modelo que toma en consideración las variables sociales, económicas y de medio ambiente, que son vitales para una mejor gestión. La tecnología fotovoltaica para la producción de energía eléctrica se ha convertido en una alternativa significativa para reemplazar o complementar la generación de energía convencional, por esto es importante analizar la cadena de suministro de sistemas fotovoltaico en el país, ya que las políticas energéticas en México están en constante transformación debido a los cambios gubernamentales e intereses de ,capitales extranjeros que llevan la pauta de los desarrollos tecnológicos del área y en su comercialización. Actualmente no hay una completa vinculación en las etapas de los procesos logísticos de la energía solar, sin embargo, existen enlaces identificados aislados que permiten su expansión, siempre y cuando.

En esta tesis, se realiza una propuesta y un análisis de la cadena de suministro de sistemas fotovoltaicos en México a nivel general, enfocado en zonas interconectadas y que darán oportunidad para las zonas no interconectadas, buscando establecer estrategias de orientación de la cadena de suministro como primer paso, para establecer un modelo que permita el desarrollo y potencialización de todas las etapas de la cadena de suministro de este tipo de sistemas en México.

Palabras clave

Energía solar fotovoltaica, desarticulación de eslabones, gestión de la cadena de suministro, variables sociales-económica-ambiental.

ABSTRACT

This work aims to identify the current state of the supply chain of electricity generation from photovoltaic solar energy and the factors that allow the configuration of a model for Mexico, for which an exploratory investigation was carried out, where a documentary search was developed, consultation with experts and field studies, finding that the supply chain is made up of disjointed links. Therefore, a model was developed that takes into account social, economic, and environmental variables, which are vital for better management. Photovoltaic technology for the production of electrical energy has become a significant alternative to replace or complement conventional energy generation; for this reason, it is important to analyze the supply chain of photovoltaic systems in the country since energy policies in Mexico are in constant transformation due to governmental changes and foreign capital interests that lead the pattern of technological developments in the area and in its commercialization. Currently, there is not a complete link in the stages of the logistic processes of solar energy. However, isolated identified links allow its expansion as long as.

In this thesis, a proposal and an analysis of the supply chain of photovoltaic systems in Mexico at a general level is made, focused on interconnected areas and that will give the opportunity to non-interconnected areas, seeking to establish supply chain orientation strategies such as the first step, to establish a model that allows the development and potentiation of all stages of the supply chain of this type of system in Mexico.

Keywords

Photovoltaic solar energy, disarticulation of links, supply chain management, social-economic-environmental variables.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1

PROPOSITO Y ORGANIZACIÓN	1
1.1 INTRODUCCION	1
1.2 ANTECEDENTES.....	4
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	8
1.4 PROPOSITO DE LA INVESTIGACIÓN.....	12
1.5 JUSTIFICACION.....	12
1.6 OBJETIVOS.....	15
1.6.1 Objetivo General.....	15
1.6.2 Objetivos Específicos y/o Particulares.....	15
1.7 DELIMITACIONES.....	16
1.7.1 Teóricas.....	16
1.7.2 Temporales.....	16
1.7.3 Espaciales.....	17
1.8 ORGANIZACIÓN DEL ESTUDIO.....	17

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO	18
2.1 LAS ENERGIAS RENOVABLES.....	18
2.1.1 Definición de energía renovable.....	18
2.1.2 Marco histórico.....	19
2.2 TIPOS DE ENERGIAS RENOVABLES.....	22
2.2.1 Energía eólica.....	22
2.2.2 Energía solar.....	24
2.2.3 Energía geotérmica.....	29
2.2.4 Bioenergía.....	33
2.2.5 Mare motriz.....	36
2.3 DESARROLLO DE LA ENERGIA FOTOVOLTAICA.....	38
2.4 MARCOS REGULATORIOS Y NORMATIVOS DE LAS ENERGIA RENOVABLES.....	40
2.4.1 Marcos regulatorios y normativos de las energías renovables en el mundo.....	40
2.4.2 Marcos regulatorios y normativos de las energías renovables en México.....	49
2.5 LA GESTIÓN DE LA GENERACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR EN MÉXICO.....	55
2.5.1 La gestión de la generación de la energía solar en México.....	55
2.5.2 La gestión de la generación de la energía solar fuera de México.....	57
2.6 LA CADENA DE SUMINISTRO Y SU IMPORTANCIA EN LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	61
2.6.1 Definición de cadena de suministro.....	61
2.6.2 Cadena de suministro de la energía solar fotovoltaica en los países referentes.....	65

CAPÍTULO 3

MARCO CONTEXTUAL.....	75
3.1 LAS ENERGIAS RENOVABLES EN MÉXICO.....	75
3.1.1 Energía Hidráulica.....	75
3.1.2 Energía Eólica.....	76
3.1.3 Energía Geotérmica.....	77
3.1.4 Energía Solar.....	78
3.1.5 Biomasa.....	80
3.1.6 Potencial de energías renovables en México	81
3.1.7 Transmisión y distribución de energía.....	83
3.2 ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN EL MUNDO.....	84
3.2.1 Generación de energía fotovoltaica en el mundo	84
3.3 ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN MÉXICO	85
3.3.1 Capacidad instalada y potencial	86
3.3.2 oferta educativa relacionada con energía solar fotovoltaica	88
3.3.3 Impacto social y ambiental	92
3.4 CADENA DE SUMINISTRO DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN EL MUNDO Y MÉXICO.....	96
3.4.1 Cadena de suministro de la energía solar fotovoltaica en el mundo	96
3.4.2 Cadena de suministro de la energía solar fotovoltaica en México	108
3.5 MEJORES PRÁCTICAS INTERNACIONALES DE POLÍTICA PÚBLICA EN ENERGIAS RENOVABLES.....	112
3.5.1 Alemania: la Energiewende "Industria 4.0".....	112
3.5.2 Ley de Transición Energética para el Crecimiento Verde del gobierno de Francia.....	114
3.5.3 China: Hecho en China 2025.....	115
3.5.4 Estados Unidos.....	117
3.5.5 México.....	117

CAPÍTULO 4

PROPUESTA DE CONFIGURACIÓN DE LA CADENA SUMINISTRO DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN MÉXICO Y SU DESCRIPCIÓN...	121
4.1 SUBCRITERIOS PARA EL DESARROLLO DE LA CADENA DE SUMINISTRO DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA.....	124
4.1.1 Subcriterio Social.....	127
4.1.2 Subcriterio Económico.....	131
4.1.3 Subcriterio Ambiental	131
4.2 ESLABONES DE LA CADENA DE SUMINISTRO DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA.....	132
4.2.1 Eslabón de Suministro (Materias primas).....	132
4.2.2 Celdas fotovoltaica-Fabricantes.....	132
4.2.3 Paneles solares fotovoltaico y accesorios.....	135
4.2.3.1 Tipo Monocristalinos.....	137
4.2.3.2 Tipo Policristalinos.....	137
4.2.3.3 Tipo Películas delgadas (Amorfas).....	138
4.2.4 Cableado y tubería.....	138

4.2.5 Protecciones contra sobre tensión.....	139
4.2.6 Estructuras metálicas.....	139
4.2.7 Inversores.....	141
4.3 GENERACIÓN.....	142
4.3.1 Arreglos fotovoltaicos.....	142
4.3.2 Sistemas de montaje.....	144
4.3.2.1 Estructura sobre suelo.....	144
4.3.2.2 Estructuras sobre tejado inclinado.....	145
4.3.2.3 Estructura sobre techo.....	146
4.3.3 Instalación eléctrica.....	148
4.3.4 Instalación de montaje.....	148
4.3.5 Puesta en servicio.....	148
4.3.6 Sistema fotovoltaico fijo.....	149
4.3.7 Sistema fotovoltaico girasol.....	149
4.4 RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA.....	150
4.4.1 Subestación.....	151
4.4.2 Líneas de Transmisión.....	151
4.4.3 Líneas de Distribución.....	151
4.5 DEMANDA.....	151
4.5.1 Esquema de medición neta de energía (Net Metering).....	152
4.5.2 Net Billing.....	153
4.5.3 Venta total de energía.....	154
4.6 RECICLAJE.....	155
4.6.1 Plantas de Recuperación y eliminación.....	155
4.6.2 Reciclado térmico.....	156
4.6.3 Reciclado mecánico.....	156
CONCLUSIONES.....	157
REFERENCIAS.....	159

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Aplicaciones de la energía por bioenergía	36
Fuente: Elaboración Propia	
Figura 2.2 Evolución de la energía fotovoltaica	39
Fuente: Elaboración Propia	
Figura 2.3 Evolución de la regulación en materia de energía en México	50
Fuente: Tomada de <i>gíz</i> (2018)	
Fig. 2.4 Representación típica de una cadena de suministro	62
Fuente: Keskinocak y Tayur, 2001	
Figura 2. 5 Potencial mundial instalada renovable 2010-2020	66
Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2021).	
Figura 2.6 Generación de energías renovables a nivel mundial 2010-2020	66
Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2021).	
Figura 3.1 Capacidad y generación en centrales hidroeléctricas 2017 (MW/GWh)	76
Fuente: SENER (2017)	
Figura 3.2 Capacidad prevista o proyectada en energía eólica	77
Fuente: AMDEE (2019)	
Figura 3.3 Capacidad y generación en centrales geotermoeléctricas en 2017	78
Fuente: SENER (2017)	
Figura 3.4 Capacidad y generación en centrales solares 2017	79
Fuente: SENER (2017)	
Figura 3.5 Zonas con alto potencial de generación solar	79
Fuente: CENACE (2018)	
Figura 3.6 Proyectos de energía solar fotovoltaica	80
Fuente: SENER (2019)	
Figura 3.7 Capacidad y generación en centrales de bioenergía 2017	81
Fuente: SENER (2017)	
Figura 3.8 Categorías del potencial de las energías renovables en México	82
Fuente: SENER (2015a)	
Figura 3.9 Capacidad instalada por entidad federativa en el año 2016	83
Fuente: SENER (2016)	
Figura 3.10 Países con más potencia instalada	84
Fuente: Energías renovables (2022b)	

Figura 3.11 Ubicación de oferta educativa de instituciones (CENIDET, INEEL, CEMER SC) que imparten cursos y diplomados en el país sobre energías renovables	89
Fuente: Elaboración propia con base en ANUIES (2020)	
Figura 3.12 Ubicación de oferta educativa a nivel técnico superior en el país relacionadas con energías renovables	90
Fuente: Elaboración propia con base en ANUIES (2020)	
Figura 3.13 Ubicación de oferta educativa a nivel licenciatura en el país de energías renovables	90
Fuente: Elaboración propia con base en ANUIES (2020)	
Figura 3.14 Ubicación de oferta educativa a nivel Maestría en el país de energías renovables	91
Fuente: Elaboración propia con base en ANUIES (2020)	
Figura 3.15 Ubicación de oferta educativa a nivel Doctorado en el país de energías renovables	91
Fuente: Elaboración propia con base en ANUIES (2020)	
Figura 3.16 Cadena de suministro de la energía solar fotovoltaica	98
Fuente: Tomado de U. S. Department of Energy (2022)	
Figura 3.17 Cadena de suministro de la energía solar en Colombia	108
Fuente: Tomado de Valderrama et al. (2018)	
Figura 3.18 Cadena de suministro de la energía solar	109
Fuente: López, Alcalá y Moreno (2012)	
Figura 3.19 Participación de la financiación de activos extranjeros divulgada en determinados mercados emergentes, en los últimos 10 años	118
Fuente: BloombergNEF (2018)	
Figura 4.1 Configuración del Modelo de gestión de la Cadena de Suministro de la energía solar fotovoltaica propuesta a partir de la TBL	124
Fuente: Elaboración propia.	
Figura 4.2 Roadmap de  fabricantes,  proveedores,  centros de investigación,  licenciatura,  maestría, y  doctorado en Europa.	127
Fuente elaboración propia.	
Figura 4.3 Roadmap de ubicación regional de los planteles donde imparten y ofrecen a nivel Técnico Superior Universitario.	128
Fuente elaboración propia	

Figura 4.4 Roadmap de ubicación de instituciones que imparten la licenciatura en energías renovables en el país	128
Fuente elaboración propia	
Figura 4.5 Roadmap de ubicación de instituciones que imparten la maestría en energías renovables en el país	129
Fuente elaboración propia	
Figura 4.6 Roadmap de ubicación de instituciones que imparten el doctorado en energías renovables en el país	129
Fuente elaboración propia	
Figura 4.7 Roadmap de ubicación de los centros de investigación en energías renovables en el país	130
Fuente elaboración propia.	
Figura 4.8 Roadmap de ubicación de  fabricantes,  comercializadoras,  instalación-venta,  mantenimiento,  asesoría-capacitación-consultoría-técnica,  asesoria-jurídica en paneles solares en el país	130
Fuente elaboración propia.	
Figura 4.9 tipos de células fotovoltaicas de acuerdo a su composición química	137
Fuente información tomada de Sunwise (2020)	
Figura 4.10 Materiales con que se fabrican las estructuras para la colocación de módulos fotovoltaicos.	141
Fuente: Tomado de Illuminet (2017)	
Figura 4.11 Tipos de soportes y estructuras	141
Fuente: Tomado de Illuminet (2017)	
Figura 4.12 Arreglo fotovoltaico en paralelo	142
Fuente: Tomado de Instalaciones y Eficiencia Energética (2017)	
Figura 4.13 Arreglo Fotovoltaico en serie	143
Fuente: Tomado de Instalaciones y Eficiencia Energética (2017)	
Figura 4.14 Arreglo fotovoltaico mixto	144
Fuente: Tomado de Instalaciones y Eficiencia Energética (2017)	
Figura 4.15 Estructuras sobre suelo	145
Fuente: tomada de Solarama (2019)	
Figura 4.16 Estructuras sobre tejado inclinado	146
Fuente: tomada de Solarama (2019)	
Figura 4.17 estructuras sobre techo.	147

Fuente: tomada de Solarama (2019)	
Figura 4.18 sistemas fotovoltaicos fijos y seguidor.	150
Fuente: Tomada de solarama (2019)	
Figura 4.19 Esquema Medición neta de energía Net Metering	153
Fuente: tomando de (CRE 2020)	
Figura 4.20 Esquema Net Billing o Facturación Neta	154
Fuente: tomando de (CRE 2020)	
Figura 4.21 Esquema venta total de energía	154
Fuente: tomando de (CRE 2020)	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Paquete de energía limpia para todos los europeos - proceso legislativo.	43
Fuente: Elaboración propia, (European Commission, 2019)	
Tabla 2.2 Opciones y objetivos de políticas europeas	46
Fuente: elaboración propia (Ren21, 2020)	
Tabla 2.3 Objetivos del Programa Especial de Cambio Climático (PECC)	53
Fuente: Elaboración Propia con base en el PECC 2014-2018	
Tabla 3.1 Potencial de generación eléctrica con energías limpias en México	82
Fuente: SENER (2015a)	
Tabla 4.1 Subcriterios de la cadena de suministro sostenible en la selección de países, Social (A), Económico (B) y Ambiental (C)	125
Fuente: Elaboración propia	
Tabla 4.2 fabricantes de células fotovoltaicas en México	133
Fuente Elaboración propia	
Tabla 4.3 Tipos de células fotovoltaicas existentes a nivel comercial.	136
Tabla 4.4 Numero de células ya sean monocristalinas, policristalinas, o amorfas.	138
Fuente: Elaboración propia	
Tabla 4.5 Tipos de aislamientos más usados para el cableado.	139
Fuente: Elaboración propia	
Tabla 4.6 Tipos de soportes utilizados en los paneles solares.	140
Fuente: Elaboración propia	
Tabla 4.7 Estructuras sobre poste y sobre pared	142
Fuente: Elaboración propia	
Tabla 4.8 Estándares de inclinación	147
Fuente: Elaboración propia.	

ÍNDICE DE GRAFICAS

Gráfica 3.1 Países con el mayor crecimiento potencial en energías renovables. Fuente: Energías renovables (2022a).	85
Gráfica 3.2 Capacidad instalada de energía solar en México de 2011 a 2021 Fuente: Statista Research Department (2022).	87
Gráfica 3.3 Publicaciones indexadas sobre género, sustentabilidad, cambio climático e indicadores a escala urbana en Scopus, 1977-2017 Fuente: Tomado de De Luca et al. (2018)	94
Gráfica 3.4 Capacidad de fabricación de energía solar fotovoltaica por país y región 2010-2021 Fuente: IEA (2022)	101
Gráfica 3.5 Crecimiento de la energía solar fotovoltaica de 2015 a 2021 Fuente: tomado de Red Eléctrica (2022)	104
Gráfica 3.6 Evolución de la potencia instalada de energía eléctrica en España (2006-2021 MW) Fuente: tomado de Red Eléctrica (2022).	104
Gráfica 3.7 Evolución de la matriz energética de Alemania, 2000-2018 (Millones de toneladas equivalentes de petróleo crudo) Fuente: DOF (2020)	113
Gráfica 3.8 Evolución de la matriz energética de Francia, 2000-2018 (Millones de toneladas equivalentes de petróleo crudo) Fuente: DOF (2020)	115
Gráfica 3.9 Evolución de la matriz energética de China, 2000-2018 (Millones de toneladas equivalentes de petróleo crudo) Fuente: DOF (2020)	116
Gráfica 3.10 Evolución de la matriz energética de Estados Unidos, 2000-2018 (Millones de toneladas equivalentes de petróleo crudo) Fuente: DOF (2020)	117

CAPÍTULO 1

PROPOSITO Y ORGANIZACIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN

El nivel de consumo de energía crece de acuerdo al desarrollo de la sociedad, la mayoría de esta energía se obtiene del carbón, petróleo y gas; las cuales no se renuevan y se van agotando año tras año. En la actualidad, lo más racional es transitar a fuentes de energía más amigables con el medio ambiente, renovables y que estén a nuestro alcance, lo cual puede provenir de medios como el viento, sol, agua, residuos orgánicos, entre otros.

En el caso de las energías no renovables, las materias primas que más se utilizan son el carbón y el petróleo; las cuales necesitaron miles de años para formarse y que se consumen año tras año a un régimen mayor que la de su extracción, por lo cual se estima que su agotamiento está acelerándose de manera exponencial. También existe la energía generada a partir de centrales nucleares, que es no renovable, muy costosas en su inversión inicial, necesitan extremas medidas de seguridad, generan residuos de difícil tratamiento y tienen un largo periodo de radiactividad latente, pero que a su vez en el largo plazo el costo de generación es bajo.

De acuerdo a Acciona (2020), entre las energías renovables conocidas como energías limpias podemos encontrar las siguientes:

- Energía eólica, que se obtiene del viento.

- Energía solar, que se obtiene del sol, donde las principales tecnologías utilizadas para generar energía son la fotovoltaica (aprovecha la luz del sol) y la solar térmica (aprovecha el calor del sol).
- Energía hidráulica o hidroeléctrica, la cual se obtiene de ríos y corrientes de agua.
- Energía a partir de la biomasa y biogás, que se extrae de la materia orgánica.
- Energía del Bioetanol, la cual es obtenida del combustible orgánico, que se logra mediante procesos de fermentación de productos vegetales.
- Energía del Biodiesel, que se obtiene a partir de aceites vegetales.
- Energía geotérmica, la cual es energía calorífica contenida en el interior de la Tierra.
- Energía mareomotriz, que se obtiene de las mareas.
- Energía undimotriz u olamotriz, que se obtiene de las olas.

Dentro de las energías mencionadas, la energía solar fotovoltaica es una de las alternativas más limpias para el medio ambiente. Se pueden obtener de la naturaleza de una forma más simple que las fuentes convencionales, utiliza recursos que tienen un impacto ambiental menor que las energías tradicionales; por lo que representa una alternativa en la sustitución de los combustibles fósiles (Acciona, 2020).

Actualmente, la economía mundial se basa principalmente en recursos energéticos no renovables como el carbón, el petróleo, el gas y el uranio, donde la dependencia tiene la siguiente correspondencia: petróleo alrededor del 46%, carbón del 27% y gas del 17%, lo que hace que la dependencia total de los combustibles fósiles llegue al 90%. Por lo que uno de los principales argumentos que justifica el cambio de estrategia a favor de las energías renovables es la creciente degradación ambiental de la biosfera, en especial, la amenaza cada vez más evidente del cambio climático y el riesgo que en últimas fechas ha significado las plantas nucleares y manejo de sus desechos radioactivos (Foster y Elzinga, 2019).

La energía solar fotovoltaica es una de las fuentes de abastecimiento energético más amigable con el medio ambiente y por ello constituye una interesante opción frente a las energías convencionales. De acuerdo a la International Renewable Energy Agency (IRENA), a finales del 2019 la capacidad instalada operativa de energía solar fotovoltaica en todo el mundo era de 580.1 GW, junto con 3.4GW de energía fotovoltaica aislada, distribuida de la forma siguiente:

- Asia con la mayor capacidad de generación fotovoltaica instalada en el mundo, con 330.1 GW, donde China representa el mercado mayor de la región con 205.7 GW, Japón con 61.8 GW, India con 34.8 GW y Corea del Sur con 10.5 GW.
- Europa con 138.2 GW, esto derivado de que la Unión Europea contribuye con 129.8 GW instalados, donde resalta Alemania con 49.9 GW, siguiéndole Italia con 20.9 GW, Reino Unido con 13.3 GW, Francia con 10.5 GW y España con 8.6 GW.
- Oriente Medio con una capacidad de 5.14 GW, donde sobresalen los Emiratos Árabes Unidos con 1.7 GW e Israel con 1.1 GW.
- África con capacidad instalada de 6.36 GW.
- Región euroasiática, que abarca con Armenia, Azerbaiyán, Rusia, Georgia y Turquía, con un total de 7.14 GW.
- Oceanía con 16.23 GW, donde Australia es el líder con 15.9 GW.
- América del Norte con 68.2 GW, con 60.5 GW instalados por los Estados Unidos, seguido de México con 4.8 GW y Canadá con 3.3 GW.
- América Central y el Caribe alcanzó 2.1 GW, donde los mayores mercados se encuentra Honduras (511 MW), la República Dominicana (293 MW), Panamá (242 MW) y el Salvador (237 MW).
- América del Sur, donde Chile cuenta con 2.6 GW y Brasil con 2.4 GW.

Además, la IRENA informa que a finales del 2019 la capacidad de energía solar fotovoltaica total aislada sin conexión a la red alcanzó los 3.43 GW, los cuales donde Asia es la principal zona con 1.91 GW, destacando la India con 1.1 GW, China con 394 MW y Bangladesh 209 MG. También se suma a esta lista África con 997 MW,

y el Oriente Medio con 299 MW, incremento apoyado por la protección al medio ambiente y el cambio climático.

Para que lo anterior tenga éxito, el aspecto más importante es la gestión de la cadena de suministro, la cual se debe ejecutar de la manera más ágil, para garantizar la satisfacción de cada uno de los eslabones y cumplir con la satisfacción de los clientes y el éxito de las empresas involucradas. La importancia de la cadena radica en que se engloben aquellas actividades asociadas con el movimiento de bienes, lo cual a nivel general incluye la selección de materia prima, compra, programación de producción, procesamiento de órdenes, control de inventarios, transportación, almacenamiento, distribución y servicio al cliente, que para el caso de la energía fotovoltaica incluye investigación y desarrollo, fabricación, suministro, desarrollo de plantas fotovoltaicas y distribución hasta el usuario final. En México, la cadena de suministro de la energía solar fotovoltaica no se tiene como tal, se presenta como eslabones aislados y con ausencia de gestión en diferentes eslabones. (López, Alcalá y Moreno, 2012).

Dado lo expuesto, se planteó este trabajo de investigación con la finalidad de configurar la cadena de suministro para la energía fotovoltaica e identificar la gestión que se necesita para agilizar su desarrollo, para lo cual se realizó una investigación exploratoria aplicada en el desarrollo tecnológico, desarrollo de proyectos, desarrollo industrial, mercados de la tecnología de energía solar fotovoltaica, así como la investigación de las cadenas de suministro y modelos de gestión en diferentes países, con la finalidad de analizar las variables que permitan proponer una configuración de la cadena de suministro para mejorar la funcionalidad de las operaciones.

1.2 ANTECEDENTES

A principios del siglo XIX el 95% de la energía primaria que se consumía en el mundo procedía de fuentes renovables, un siglo después tal porcentaje era del 38%, y a principios del presente es de sólo 16%. El impulso dado al desarrollo de la tecnología asociada al aprovechamiento de las energías renovables a partir de la

década de los setenta, ha permitido que diversas tecnologías en fase experimental se conviertan en un producto capaz de competir en el mercado y ganar terreno a otras alternativas que operan; como los combustibles fósiles (Zhang et al., 2016).

Por otra parte, en los últimos años han surgido ideas nuevas que potencializan la generación de energía renovable, ahorro de energía e implementación para su transformación y consumo. Diversos ejemplos son: la energía eólica, la maremotriz, la térmica y la muy famosa energía solar fotovoltaica. El crecimiento de consumo de energía primaria en el mundo procedente de fuentes renovables fue del 7.1% en el año 2018, aumentando su contribución en un 0.4%, destacando la Unión Europea, donde las energías renovables representaron el 15.5% de la energía primaria, lo que fue un aumento del 7.8% en comparación al año 2017. El consumo del petróleo en el mundo disminuyó en 0.5 puntos porcentuales situándose en el 33.6%, manteniendo la primera posición a pesar de su reducción; el carbón bajo a un 27.2% y el gas natural aumentó a nivel global su cuota de participación, representando el 23.9% de la energía. En el mundo los combustibles fósiles ocuparon los tres primeros lugares en el consumo de energía primaria, mientras que las energías renovables se sitúan como la cuarta fuente en consumo (appa renovables, 2022; BP, 2019)

Un punto importante a destacar, son los acuerdos financieros de las empresas de suministro eléctrico que favorecen bajos costos iniciales y costos continuos de combustibles (combustibles fósiles) en lugar de altos costos iniciales y bajos costos de combustibles (energía renovable). Esta renuencia frente a los altos costos iniciales, impide el despliegue generalizado de tecnologías de eficiencia energética. Por ejemplo, a pesar de los adelantos en materia de tecnologías de la energía solar fotovoltaica y la creciente preocupación por la seguridad energética y el medio ambiente mundial, es evidente que la generalización del uso de sistemas de energía renovable para producir electricidad y las sustanciales medidas que promuevan la eficiencia energética en América Latina y el Caribe, en un futuro, traerán aparejados cambios claves en el mercado de la energía. Al considerar inversiones en servicios

energéticos interconectados y aislados, las empresas de servicios públicos se basan principalmente en la tasa de retorno de los proyectos privados de energía.

En la actualidad, la carencia generalizada de políticas adecuadas impide la rápida difusión de tecnologías de la energía solar fotovoltaica y eficiencia energética en América Latina y el Caribe. Muchas de las empresas de energía eléctrica del hemisferio se han convertido en estructuras desreguladas y orientadas al mercado. Así, durante las tres últimas décadas, varios países transformaron sus monopolios estatales en sistemas privatizados. En Centro y Sudamérica es común encontrar mercados energéticos competitivos disociados con diferentes entidades dedicadas por separado a la generación, transmisión y suministro de energía, que se concentran principalmente en los precios de “mercado de entrega inmediata” y hacen hincapié en inversiones existentes y de nueva generación que requieren poco tiempo y capital inicial. Por otro lado, los sistemas alternativos como lo es la energía solar fotovoltaica, tienen una desventaja inherente en la estructura del mercado de la electricidad, donde el Estado está prácticamente ausente y las empresas privadas compiten entre sí. Este modelo no suele alentar programas dinámicos de electrificación en zonas rurales, donde resulta difícil obtener ganancias, y por ende muchos ciudadanos latinoamericanos se ven privados del acceso a servicios energéticos modernos. Se ha hecho una estimación de que no tienen acceso a la electricidad el 14% de la población de América Latina (OLADE, 2018).

Por otra parte, en México las energías renovables, en particular la energía solar fotovoltaica, son una parte importante de la profunda transformación que está viviendo el sector eléctrico nacional, en los últimos años México ha tratado de impulsar su desarrollo, mediante el establecimiento de objetivos ambiciosos en esta materia y un sistema regulatorio favorable para la inversión privada. Sin embargo, el año 2019 fue de mensajes conflictivos y confusos por los gobernantes de México, con respecto al futuro de las energías renovables y la transición a un sector energético más limpio y sostenible. Sin embargo, vale la pena preguntarse, si este largo y sinuoso camino conducirá a un suministro de energía competitivo y

sostenible que permitirá que México crezca, mejore los niveles de ingreso per cápita, satisfaga la demanda de energía proyectada del PRODESEN del 3% anual durante los próximos 15 años y reduzca la huella de carbono (IMP, 2017).

En los últimos años se ha visto una expansión continua en la generación solar y eólica. Por ejemplo, el potencial de generación solar de México resultó en 1.3 GW de nueva capacidad agregada desde el 2018, con 55 plantas solares operando en todo el país, que represento alrededor del 4% de la capacidad total. Por otro lado, la generación de energía eólica también continúa expandiéndose, principalmente en el norte del país, con 0.9 GW adicionales al total del país desde 2018. Dado el nivel actual de proyectos eólicos en construcción, se prevé que alrededor del 10% de la generación total provenga del viento en los próximos 5 años (Silva, 2019).

Desafortunadamente, las acciones y mensajes de la Administración actual, como la cancelación de las subastas a largo plazo y los cambios en las normas del Certificado de Energía Limpia (CEL), están planteando serias dudas sobre la inversión futura en energías renovables y el impacto de las mismas en los precios de la energía y objetivos de sostenibilidad. Muchos especulan que los objetivos de estas acciones y mensajes son proteger el papel de CFE en el mercado y seguir un discurso político. Estas acciones también afirman la creencia generalizada de que las empresas estatales tienen menos incentivos que las empresas privadas para minimizar los costos. Si estas prácticas continúan, la mayor pérdida será para la credibilidad de México en el escenario del mundo y el medio ambiente, ya que se comprometió a generar el 35% de su electricidad a partir de fuentes de energía limpia para el 2024, lo que según las políticas actuales no parece factible (Deloitte, 2018).

Es importante remarcar que la energía solar fotovoltaica, aun siendo renovable por definición, es limitada y, como cualquier otro recurso natural, tienen su propio potencial máximo de explotación. Esto no quiere decir que se puedan terminar, pero sí que deben consumirse de manera inteligente. Por este motivo, incluso aunque se

pueda hacer una transición gradual a estas nuevas formas de producción de energías, tampoco van a permitir continuar con el modelo económico actual de los diferentes Estados, basado en el crecimiento de por vida. En este sentido, el concepto de desarrollo sostenible es central a la hora de planificar una gestión de gobierno que considere el medio ambiente y los recursos como elementos claves en la vida de las personas (SolarPower Europe y ASOLMEX, 2018).

En toda América Latina y el Caribe, pueden encontrarse abundantes recursos renovables -incluidas la energía solar, eólica, geotérmica, hídrica y de biomasa- que brindan a varios países la posibilidad de utilizar recursos naturales propios en la producción de electricidad limpia. De hecho, las tecnologías de energía renovable pueden ayudar a satisfacer el creciente aumento de la demanda de electricidad en toda la región, tanto en redes energéticas como en sistemas aislados de las redes. Si a esto se le suma la implementación de las mejoras de eficiencia energética, se pueden alcanzar importantes reducciones en el uso de combustibles fósiles para la generación de energía (IMP, 2019).

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La energía es indispensable en nuestra vida cotidiana, y el sol es una fuente de luz y energía esencial en el desarrollo de nuestra vida y de todo ser vivo en el planeta. De los rayos solares se puede obtener la energía suficiente para el funcionamiento de los aparatos electrónicos de nuestros hogares y la industria, que actúa de manera favorable con el medio ambiente, lo cual se puede hacer a través de la instalación de un sistema de paneles fotovoltaicos, donde los rayos solares son convertidos en energía eléctrica y almacenados en bancos de baterías para usarse cuando sea requerido.

El desarrollo tecnológico e industrial a nivel mundial ha propiciado que actualmente se requieran grandes cantidades de energía para la producción de bienes y servicios, la cual se obtiene primordialmente del petróleo y sus derivados; en el entendido de que estos energéticos no son renovables, donde se ha vuelto

prioritario el utilizarlos de forma racional y eficiente. Así mismo, se han venido desarrollando otras fuentes de suministro de energía, avocadas a fuentes renovables y con un mínimo de impacto ambiental.

La intensa generación de bióxido de carbono (CO_2), por la quema de combustibles fósiles y la progresiva acumulación de este compuesto en la atmósfera está perturbando los patrones climáticos, lo que se manifiesta a través de los gases de efecto invernadero. Científicos de todo el mundo estiman que, de mantenerse la actual tendencia, las alteraciones climáticas se agravarán con consecuencias catastróficas. En ese marco, empieza a emerger una nueva economía climática como resultado de la escasez de recursos, los graves efectos del calentamiento global y la innovación industrial. Ante ello, es importante empezar a explotar el potencial solar de México.

México es un país privilegiado en fuentes de energías renovables, en particular la energía solar (fotovoltaica), constituye no sólo una alternativa de solución al problema energético nacional, sino también podrían coadyuvar a resolver otros problemas no menos graves como son: el deterioro ambiental, el desempleo y la fuga de divisas, por mencionar algunos. Sin embargo, para aprovecharlas adecuadamente en la modernización del país y en el mejoramiento de vida de sus habitantes, existe la apremiante necesidad de multiplicar los esfuerzos y recursos dedicados a su investigación y desarrollo tecnológico con las más altas normas de calidad, así como su industrialización y comercialización, a fin de poder satisfacer las necesidades energéticas tanto de las comunidades rurales y urbanas como de la pequeña, mediana y gran industria. Asimismo, deben concebirse nuevos esquemas de participación social y privada en la generación de energía, tendientes al desarrollo de pequeños sistemas autónomos y descentralizados basados en la energía solar fotovoltaica, a fin de reemplazar el prevaeciente en la actualidad. A lo anterior, a la par, se deberá concientizar a la sociedad entera para cambiar drásticamente sus patrones de consumo energético (Rincón, 1999).

En el país se cuenta con un gran número de investigadores que laboran en instituciones como la UNAM, la UAM, el CINVESTAV, UANL y el ITESM, casi todos ellos miembros de la Asociación Nacional de Energía Solar, que promueven el empleo de las fuentes renovables de energía. Asimismo, existen cerca de 40 industrias que producen pequeños sistemas para su aprovechamiento, sin embargo, hace falta aún la voluntad política para que estas fuentes tomen el papel preponderante que deberán tener en una auténtica modernización del país. Estas actividades han evolucionado con base en criterios casi puramente académicos, aunque está claro para los investigadores de esta área, que la energía solar es imprescindible para lograr un desarrollo sostenible y que las empresas que industrialicen los sistemas para el aprovechamiento de la energía tienen un futuro sumamente prometedor, pero, no se ha podido concretar un plan global para su aprovechamiento, aunque el gobierno mexicano, en sus distintos niveles, ha jugado un papel importante en la promoción y el financiamiento de algunos proyectos relacionados con la energía solar fotovoltaica, encontrándose que los sistemas que se han instalado dieron respuesta a problemáticas específicas y no surgieron explícitamente de una política gubernamental concertada o planeada. Los ejecutores de los proyectos de electrificación en México, son la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y la Secretaría de Energía, a través de la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE) y la Comisión Reguladora de Energía (CRE), que tienen entre sus mandatos el fomento de las energías renovables en el territorio nacional (Enlight, 2018).

México deberá plantear una visión de largo plazo y crear políticas públicas que potencien el desarrollo de un mercado de energía solar fotovoltaica, para lo cual se necesita el desarrollo de su correspondiente cadena de suministro y que vaya de la mano de una buena gestión. es importante hacer énfasis en que la iniciativa de reforma constitucional en materia energética, presentada por el presidente Andrés Manuel López Obrador en septiembre de 2021, no afecta a la generación distribuida. Los cambios que propone esta iniciativa están enfocados a la generación centralizada, es decir, instalaciones fotovoltaicas a gran escala (parques solares)

con una enorme cantidad de paneles solares que tienen el fin de generar energía y venderla a la red eléctrica. (Enlighth, 2022).

Las energías renovables, si bien es cierto se han convertido en parte integrante de las acciones prioritarias en el combate contra la crisis ambiental que se está viviendo, aún no se llega a comprender a fondo los elementos que son necesarios para su viabilidad y las ventajas que ofrecen para la sociedad y el medio ambiente, es por eso que nace la idea, y se hace la siguiente pregunta del problema a investigar:

¿Cuáles son los elementos involucrados clave en el desarrollo de la cadena de suministro para la energía solar fotovoltaica, para guiar una buena gestión en la generación de electricidad en México?

A nivel global, las cadenas de suministro deben diversificarse y desarrollarse a una escala sin precedentes, se plantea que la capacidad solar en todo el mundo debe cuadruplicarse para 2030, lo cual se constituye con base en una combinación de capacidad de fabricación, compradores, vendedores, empresas de transporte y diferentes intermediarios, donde participan agentes aduaneros, agencias gubernamentales asociadas a la entrada y salida de bienes de una jurisdicción dada. Las cadenas de suministro deben ser resistentes, asequibles y sostenibles. Por ejemplo, China concentra más del 80% de fase clave en la fabricación de celdas solares y elementos como polisilicio y obleas, lo cual debe revertirse (World Energy Trade, 2022).

México cuenta con empresas comercializadoras de paneles fotovoltaicos, que se adaptan a marcos regulatorios y a distintas necesidades de suministro de energía, pero no se tiene una estructura adecuada de la cadena de suministro y de acuerdo a la investigación desarrollada por López, Alcalá y Moreno (2012) no hay una cadena de suministro articulada, sólo se perciben eslabones aislados.

1.4 PROPÓSITO DE LA INVESTIGACIÓN

Actualmente hay una enorme dependencia en materia energética de los combustibles fósiles, y existe la constante y urgente necesidad de generar un cambio a nuevas fuentes de energías, que sean suficientes y capaces de poder combinar de manera inteligente con la generación de energía existente, para satisfacer las necesidades presentes y futuras, las cuales no se encuentran vinculadas con la cotidianidad de las formas de energía tradicionales, ni tienen los instrumentos metodológicos y de gestión necesarios y aplicables, lo cual se da por la amplia dependencia de recursos fósiles, falta de tecnología, transferencia tecnológica, cuestiones socioculturales, marcos regulatorios y políticas gubernamentales, propiciando la dependencia con países desarrollados, ausencia de suficiente capital intelectual especializado en el ramo, falta de políticas a nivel federal, estatal y municipal entre otras.

De ahí la importancia de entender el contexto, identificar las mejores prácticas y poder estudiarlas para proponer esquemas que permitan proponer metodologías acordes a nuestra realidad, donde esta investigación permita identificar los sesgos y huecos para proponer estrategias de gestión que agilicen la transición de una manera más ordenada y eficaz.

Debido a esto, para efectos del presente trabajo de investigación, el enfoque será dirigido al desarrollo de una metodología de gestión que proponga alternativas para mejorar la factibilidad-viabilidad de la cadena de suministro de la energía solar fotovoltaica, a través de la evaluación de factores internos y externos, para identificar y analizar las variables y mejores prácticas que impactan de acuerdo a nuestro entorno, y en su momento sea la pauta para tomar decisiones.

1.5 JUSTIFICACIÓN

El alejamiento de los combustibles fósiles tiene grandes implicancias para los mercados energéticos y la lucha contra el cambio climático. La energía eólica y solar están por permitir que el sector eléctrico cumpla con su parte en la disminución de

emisiones requerida en virtud del Acuerdo de París, al menos hasta el 2030, de acuerdo a Bloomberg NFC (2019).

Las energías renovables en pocos años se posicionarán como la primera alternativa para la generación de electricidad en el mundo. Los gobiernos deben deshacerse de las dudas que tienen sobre estas, si desean que esta tecnología desarrolle su máximo potencial, y de este modo asegurar un desarrollo seguro y sostenible. Una de las opciones que se pueden considerar para lograr un impulso real es la energía solar fotovoltaica y el desarrollo de su cadena de suministro. Una de las formas que más se está utilizando para la energía solar fotovoltaica es el mercado de la Generación Distribuida, el cual es nuevo en México, que ha tenido dificultades debido a la falta de incentivos para los usuarios de estas tecnologías y al retraso del establecimiento de un marco legal que lo aliente y dé certidumbre. Por ejemplo, se deben establecer políticas para el combate a la pobreza energética, y propiciar la innovación en los negocios orientados a la base de la pirámide social, para energizar zonas aisladas de la RED, por lo anterior, es importante integrar y robustecer la cadena de suministro de la generación distribuida, con sistemas híbridos innovadores por la convergencia de tecnologías en ER, para incorporar a este segmento social al Desarrollo Regional Sustentable (Mártel, 2019).

Entre otros retos, se tiene que los programas y reglamentos del marco legal vigente en Energías Renovables y Sustentabilidad Energética, deben incentivar la inversión en tecnología en todos los sectores consumidores de energía. Por ejemplo, se ha encontrado que la diferencia en el tamaño del Mercado de Generación Distribuida entre los países desarrollados y México, lo hacen los incentivos y la capacidad innovadora del sector empresarial de las Energías Renovables, donde se propone una estructura social de Clúster de conocimiento en energía, capaz de articular el desarrollo tecnológico con los sistemas de innovación locales. Es urgente establecer políticas energéticas para la sustentabilidad ambiental e integrar y maximizar los beneficios de la energía renovable en el desarrollo local, como medio

para aumentar la competitividad global con el desarrollo de una economía baja en carbono.

El desarrollo de las energías renovables surge para mejorar el sistema energético mundial, que está basado en las limitadas fuentes fósiles. Es así que se ha identificado a la energía solar fotovoltaica como un recurso renovable importante, que posee la capacidad necesaria para aportar a la sustitución del petróleo y sus derivados. Sin embargo, para que se cumpla con este propósito, es indispensable ampliar y mejorar los métodos de aprovechamiento junto con la integración de su cadena de suministro.

Al existir una gran fuente para el aprovechamiento de la energía solar, la sostenibilidad de la cadena de suministro presenta decisiones y puntos de análisis con interrogantes como: seleccionar tipo de tecnología dónde localizar los centros de aprovechamiento, capacidad, tipos de instalación, formas de transmisión y a qué mercado satisfacer, todo lo anterior teniendo en cuenta la relación costo-beneficio. Sin embargo, los principales desafíos de la cadena de suministro se encuentran en las etapas de producción, recolección, almacenamiento, transporte y punto de venta, debido a que es común que en cada proceso se tomen decisiones independientes y no en función de los objetivos globales, por lo que la falta de coordinación y cooperación este tipo de cadenas de suministro se vuelven complejas.

Las mejoras realizadas en la gestión de la cadena de suministro han modificado la concepción del aprovechamiento de la energía solar, con el objetivo de generar ahorros en todas las etapas del proceso. Es así, que se evalúa el origen del recurso (limpieza del lugar de colocación, los modos de recolección y almacenamiento, las características de los puntos de almacenamiento o acopio y la implementación de sistemas de transmisión y distribución eficientes), de este modo se incrementan las expectativas económicas en todos los eslabones que conforman la cadena de suministro.

En los últimos años, los gobiernos de todo el mundo han aplicado medidas para fomentar el desarrollo de la energía solar, tanto a nivel doméstico como a nivel de red (utilizando incentivos de diversa índole). Sea cual sea el método, hay muchos datos prometedores que sugieren que la energía solar va a ser un activo importante en la generación eléctrica a nivel mundial.

Esta investigación servirá como una base científica-técnica para la toma de decisiones en materia energética, específicamente, en la generación sustentable de energía eléctrica. Representará un marco metodológico para el sustento de políticas públicas eficaces, que sean acordes con la situación actual de México, bajo un enfoque sustentable con indicadores establecidos por instituciones locales e internacionales. Así mismo, se considera en todo momento la mejora de la calidad de vida de la sociedad mexicana y que se pueda contribuir a la autosuficiencia energética y competitividad del sector a nivel internacional.

1.6 OBJETIVOS

1.6.1 Objetivo general

- Identificar la cadena de suministro para la generación de electricidad a partir de la energía solar fotovoltaica y los factores que permitan llevar a cabo un modelo de gestión factible en México.

1.6.2 Objetivos Específicos

- Realizar investigación documental del desarrollo de la energía solar fotovoltaica en el mundo y México, para la identificación de las variables involucradas en la cadena de suministro.
- Analizar a nivel geográfico el nivel de radiación solar existente.
- Evaluar el marco normativo en México que regula el desarrollo e implementación de la energía solar fotovoltaica.
- Examinar las políticas públicas actuales en materia energética.

- Analizar las cuestiones culturales de la sociedad que impactan en la implementación de proyectos de energía solar.
- Identificar centros de investigación en México dedicados a la investigación relacionada con la energía solar fotovoltaica.
- Identificar los campos energía solar fotovoltaica desarrollados en México y valorar su impacto.
- Analizar los métodos de transmisión de la energía solar fotovoltaica existentes, para identificar las más adecuadas en México.
- Identificar e investigar a las empresas dedicadas a la comercialización de energía solar fotovoltaica.
- Analizar los sistemas de gestión desarrollados en otros países, e identificar las variables que más impactan en la viabilidad de proyectos de la energía solar fotovoltaica.
- Desarrollar la cadena de suministro de la energía fotovoltaica para México.
- Identificar y valorar las variables que impactan en la gestión y desarrollo de la cadena de suministro de la energía solar fotovoltaica.

1.7 DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

1.7.1 Delimitaciones teóricas

- Análisis de información cuantitativa existente sobre la energía solar fotovoltaica en los países líderes y en México, basado en información documental encontrada en artículos de investigación, informes, publicaciones de empresas dedicadas al ramo, seguimiento a noticias y artículos publicados por identidades gubernamentales, páginas web especializadas, noticias en periódicos y revistas del ramo dadas por personas especialistas y tomadores de decisiones y consulta de especialistas del ramo.
- Identificación de factores y variables relevantes en el uso de la energía solar fotovoltaica de otros países y México.

1.7.2 Temporales

- Se toma información publicada hasta el año 2022.

1.7.3 Espaciales

- La investigación se desarrolló en el contexto nacional e internacional, para identificar variables y factores que permitan proponer un modelo de cadena de suministro de la energía solar fotovoltaica en México y mejorar la gestión en los procesos que impactan en su desarrollo.

1.8 ORGANIZACIÓN DEL ESTUDIO

Esta tesis doctoral está estructurada en 4 capítulos, que a continuación se describen:

Capítulo 1. Se plantea el problema de la situación actual de la energía fotovoltaica en Europa, Latinoamérica y en México. Se definen los objetivos, alcances y limitaciones del estudio, se destaca la justificación, el impacto y lo que implica el estudio.

Capítulo 2. Se da un panorama de los diferentes tipos de energías renovables que actualmente se utilizan, además de sus marcos regulatorios y normativas en el mundo y México; así como su gestión en la generación de la energía solar, finalmente se aborda la cadena de suministro y su importancia en la energía solar fotovoltaica.

Capítulo 3. Se presenta el marco contextual de las energías renovables en México, su potencial, transmisión y distribución, el panorama de la cadena de suministro de la energía fotovoltaica en el Mundo y México, capacidades y mejores prácticas en políticas internacionales.

Capítulo 4 se presenta la propuesta de la cadena de suministro de la energía fotovoltaica para México, donde se describe cada uno de los eslabones, tomando en consideración los subcriterios: social, económico y ambiental.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 LAS ENERGIAS RENOVABLES

La energía ha constituido una pieza clave para el desarrollo de la humanidad. El hombre, desde el principio de su existencia, ha necesitado la energía para sobrevivir y avanzar. La energía la podemos definir como la capacidad de los cuerpos para realizar un trabajo y producir cambios en ellos mismos o en otros cuerpos o también como la capacidad de hacer funcionar las cosas y la unidad de medida que se utiliza para cuantificar la energía es el joule (J), en honor al físico inglés James Prescott Joule. La energía se puede presentar bajo diversas formas, que se pueden transformar las unas en las otras, bajo el principio de conservación de la energía (Navarro, 2021).

2.1.1 Definición de energía renovable

De acuerdo a Oviedo et al. (2015), las energías no renovables las definen como aquellas que se encuentran en la naturaleza en una cantidad agotable, no se regeneran o lo hacen de una forma muy lenta en relación a la esperanza de vida humana. Dicho de otra manera, son aquellas cuyas reservas son limitadas y, por tanto, disminuyen a medida que se consumen por lo que es más difícil su extracción y aumenta su costo. Se consideran energías no renovables el petróleo, el carbón, el gas natural o la energía nuclear.

Las energías renovables son un tipo de energías derivadas de fuentes naturales que se reponen más rápido que lo que se consume. Unos claros ejemplos de dichas fuentes son, por ejemplo, la luz solar y el viento; estas fuentes se renuevan continuamente. Naciones Unidas (2022), de la misma manera Se denomina Energía Renovable a la energía que surgen de fuentes naturales inagotables, ya sea por la energía inmensa que contienen o por tener la capacidad de regenerarse por vías

naturales. Por consiguiente, las energías renovables se definen como aquellas fuentes de energía que utilizan básicamente recursos naturales como: el sol, el viento, el agua o la biomasa vegetal o animal. Su principal característica es no utilizar combustibles fósiles, sino recursos naturales capaces de renovarse ilimitadamente, o que tienen un impacto ambiental muy escaso, pues además de no emplear recursos finitos, no generan contaminantes y son respetuosas con el medio ambiente, por lo que también se denominan “energías limpias”. Tienen un potencial prácticamente ilimitado para producir energía ya que se generan; además de contribuir a crear empleos en un nuevo sector, y su impacto económico es especialmente positivo para la región en la que se instala (Spiegeler, 2016).

2.1.2. Marco histórico

Cuando nos referimos a la energía, abarcamos un tema muy amplio, lo importante es identificar los momentos importantes en la historia, desde su descubrimiento, evolución y el uso de las diferentes fuentes de Energía. Muchos de los tipos de Energía han sido descubiertas por ensayo, por error, por la búsqueda de solucionar sus problemáticas en su momento, lo cual se describe en la siguiente línea de tiempo.

- En el año 770,000. A.C. los humanos descubren como hacer fuego.
- En el año 2000 A.C. los chinos comienzan a quemar carbón para calentarse y cocinar.
- En el año 1 D.C. los chinos primero recolectaron y refinaron el petróleo como combustible para lámparas.
- En el año 200 los europeos construyen ruedas en los ríos y arroyos para emplear agua como fuente de energía
- En el año 1000 los persas construyen el primer molino de viento como fuente de energía.
- En el 1600 los británicos descubren como cocinar carbón para transformarlo en coque, el cual se convirtió en combustible muy importante para los siglos XVIII, XIX y en la industria del siglo XX.

- A principios y mediados de 1700 se da la invención de la bomba para remover agua de las minas, la cual hizo intensiva la minería de carbón. El carbón comienza a remplazar otros combustibles como fuente principal de energía para la civilización.
- En el año 1820 el primer pozo de gas natural fue perforado en Fredonia, N.Y.
- En el año 1830 el científico británico Michael Faraday descubrió el electromagnetismo y el generador eléctrico. El motor y el relé son desarrollados.
- En el año 1859 el primer pozo de petróleo es perforado en Titusville, Pensilvania.
- En el año 1860 el Francés Auguste Mouchout construye el primer generador de energía solar, usando un espejo para reflejar la luz del sol y crear vapor.
- En el año 1880-1890 Nikola Tesla inventa el sistema de corriente Alterna (CA) de generación eléctrica, lo cual se convierte en un estándar a lo largo del mundo para estar conectados como nación a finales del siglo XIX y XX.
- En el año 1892 fue el primer uso de la energía geotérmica para calentar edificios en Boise, Idaho.
- En el año 1948 se da el descubrimiento del campo de petróleo Ghawar, el más grande depósito de petróleo del mundo en Arabia Saudita.
- En el año 1950 se creó la primera planta de energía nuclear, en Obninsk URSS y en Shippingport, Pensilvania. Eventualmente las Plantas nucleares suplirían cerca del 20% de la electricidad en EEUU.
- En el año 1979 el accidente en Three Mile Island en Pensilvania detiene el desarrollo de la energía nuclear en EEUU.
- En el año 1980 los científicos comienzan a reunir evidencia de que la quema de combustible fósil está conduciéndonos potencialmente a una catástrofe de cambio climático global.
- En el año 2000 los productores de energía emplean cada vez más métodos complicados por la dificultad de llegar a las reservas de combustible fósil. Hay un incremento en los esfuerzos para desarrollar fuentes de energía alternativa, como el viento, energía solar y energía geotérmica.

- En el año 2001, algunos países como parte de su plan energético empiezan a colocar ciertas políticas relacionadas con la energía y a su vez abren departamentos de investigación en energías de fuentes renovables.
- En el año 2002, Japón construye e instala 25,000 paneles solares, haciendo que los precios de los paneles fueran más asequibles.
- En el año 2006 la energía eólica empieza a buscar otros métodos y diseños arquitectónicos para ser más eficientes, reducir la contaminación por el ruido aerodinámico y ser más atractivos visualmente.
- En el año 2008-2009, España es reconocido como uno de los países con mayor irradiación solar, que lo hace perfecto para celdas solares. Es reconocida como uno de los países con mayor potencia fotovoltaica instalada en el mundo, con 2708 MW. Sin embargo, la adopción de esta energía en las casas tan solo llega a un 0.9% en todo el país, según la INE.
- En el año 2012, la unión europea prohíbe la fabricación de bombillas incandescentes y empieza a ser remplazadas por la tecnología LED y bombillas ahorradoras (La bombilla incandescente solo produce el 5% de luz, el 95% se desperdicia en calor).
- En el año 2014, España se encuentra por encima de otros países, sigue llevando la delantera en la energía solar. A esta fecha tiene una potencia de 4679 MW y posee la mayoría de las plantas solares en Europa.
- En el año 2015 la energía eólica se convirtió en la fuente principal de la nueva capacidad de generación de electricidad en Europa y Estados Unidos, y la segunda en China. En muchos países representa una gran parte del aporte eléctrico total, como en Alemania, donde en cuatro de sus estados ha superado el 60% y en Dinamarca alcanza el 42%. En España cubrió el 18,3% de la demanda y, en Uruguay, el 15,5%. México ocupa la quinta posición en el ranking mundial de naciones con mayor capacidad eólica per cápita, después de Dinamarca, Suecia, Alemania e Irlanda, y también es uno de los países líderes en la fabricación de turbinas eólicas, con más de un 5% del mercado (Navarro, 2021).

Hoy en día, existen distintos adelantos tecnológicos que buscan aprovechar de la mejor manera las fuentes energéticas disponibles, además de que en algunos países, se está enfatizando en su desarrollo, no solo para paliar con la creciente demanda energética, sino también como una forma de desarrollo económico.

2.2 TIPOS DE ENERGÍAS RENOVABLES

Se ha hablado de la historia de las energías renovables y del punto en el que se encuentran en la actualidad, pero la investigación continua y cada vez se buscan soluciones más innovadoras para aprovechar el potencial de las energías renovables, se puede decir que las energías renovables se crean en un flujo continuo y se disipan a través de ciclos naturales, debido a que su generación es incesante. Las energías renovables más utilizadas a partir de sus fuentes se describen en los siguientes puntos.

2.2.1 Energía eólica

La energía eólica es una energía renovable, que se ha aprovechado mediante la instalación de aerogeneradores. Dentro de las energías renovables, es una de las más importantes, la cual tiene su origen por el calentamiento producido por el sol.

2.2.1.1 ¿Cómo se transforma la energía eólica?

La radiación solar, que penetra de forma irregular en la atmósfera, da lugar al aire con diferentes temperaturas que, además poseen diferentes densidades y presiones. El aire condensado que se desplaza desde las altas presiones hacia las bajas presiones crea el viento gracias a los aerogeneradores, que alcanzan los 50 metros de altura con hélices de hasta 23 metros de longitud, la fuerza del viento mueve las hélices del aerogenerador que, gracias a un rotor de un generador, convierte la fuerza del viento en energía eléctrica.

En su parte posterior, tiene una “pequeña” veleta que le va indicando la dirección del viento, para poder aprovecharse al máximo su fuerza (Perales, 2012a, b).

2.2.1.2 Ventajas de la energía eólica

Es una de las mejores alternativas de generación de energía, porque está ahí siempre, no se necesita de complicados procesos de producción y, además, es totalmente renovable.

Otra de las grandes ventajas de esta energía es que es una alternativa muchísimo más limpia que el carbón, el petróleo o el gas natural, y también que la energía nuclear.

Por otra parte, se trata de una energía que podría dar lugar al autoabastecimiento en determinadas zonas y que puede contribuir a llevar el desarrollo a zonas menos favorecidas (Arriols, 2022).

2.2.1.3 Desventajas de la energía eólica

En primer lugar, se necesitan unas condiciones meteorológicas concretas para que pueda funcionar a pleno rendimiento.

Los aerogeneradores causan un importante impacto estético y también pueden afectar a la vida y costumbres de los animales de la zona, en especial de las aves (ANTALA SPECIAL CHEMICALS, 2019).

Cabe destacar que se trata de una energía todavía poco desarrollada en algunos países; en la que no hay una inversión y una apuesta segura, ni por parte de los gobiernos ni de las grandes corporaciones.

2.2.1.4 Aplicaciones de la energía eólica

Los usos de la energía eólica se diferencian en dos tipos de aplicaciones:

- a. Las centralizadas, generadoras de cantidades importantes de energía eléctrica vertida a la red de distribución de manera directa.
- b. Las autónomas, donde la producción tiene un fin de uso directo a energía térmica o eléctrica (Méndez, 2016).

Para la producción de energía eólica, se utilizan dos tipos de instalaciones:

- Los aerogeneradores de gran potencia.
- Los parques eólicos, centrales de molinos trabajando conjuntamente para verter la producción directamente a la red de almacenamiento.

La energía obtenida de los aerogeneradores puede ser utilizada en la producción de energía mecánica, térmica o eléctrica, así entonces podemos resaltar algunos usos y aplicaciones (Méndez, 2016).

- Calefacción
- Refrigeración
- Calentamiento de agua
- Alumbrado y diversos usos eléctricos

2.2.2 Energía solar

En la Tierra, hogar de la humanidad y tercer planeta del sistema solar, la energía solar es el origen del ciclo del agua y del viento. El reino vegetal, del que depende el reino animal, también utiliza la energía solar transformándola en energía química a través de la fotosíntesis. Con excepción de la energía nuclear, de la energía geotérmica y de la energía mareomotriz (proveniente del movimiento del agua creado por las mareas), la energía solar es la fuente de todas las energías sobre la Tierra (Díaz y Ruiz, 2015).

Gracias a diversos procesos, la energía solar se puede transformar en otra forma de energía útil para la actividad humana: en calor, en energía eléctrica o en biomasa. Por ende, el término “energía solar” se utiliza, con frecuencia, para describir la electricidad o el calor obtenidos a partir de ella.

Las técnicas para capturar directamente una parte de esta energía están disponibles y están siendo mejoradas permanentemente (Montecinos, 2018).

2.2.2.1 Células Solares

Uno de los últimos desarrollos de materiales de energía solar son las células solares. Una célula solar funciona de la siguiente manera: de la radiación solar provienen los fotones que impactan sobre la superficie de la célula y los materiales semiconductores (silicio) los absorben. Los fotones golpean a los electrones liberándolos de los átomos, esos electrones circulan por el material y así producen electricidad.

Las células solares que forman los paneles solares están fabricados a base de silicio, que es uno de los materiales semiconductores que más abundan en el planeta, pero difícil de extraer por eso son caros y difíciles de instalar. Por esta razón los científicos están buscando nuevos materiales que sean más baratos, eficientes, delgados y capaces de tener más aplicaciones (Bridgewater, 2009).

2.2.2.2 Tipos de Energía Solar

Se pueden distinguir tres tipos de energías:

- Energía solar fotovoltaica, se refiere a la electricidad producida por la transformación de una parte de la radiación solar con una célula fotoeléctrica (es un componente electrónico que, expuesto a la luz (fotones), genera una tensión). Varias celdas están conectadas entre sí en un módulo solar fotovoltaico. Y, después, varios módulos se agrupan para formar un sistema solar para uso individual o una planta de energía solar fotovoltaica, que suministra una red de distribución eléctrica. El término “fotovoltaica” se refiere al fenómeno físico – el efecto fotovoltaico – o bien a la tecnología asociada.
- Energía solar térmica, consiste en utilizar el calor de la radiación solar. Se presenta en diferentes formas: centrales solares termodinámicas, agua caliente y calefacción, refrigeración solar, cocinas y secadores solares. La energía solar termodinámica es una técnica que utiliza energía solar térmica para generar electricidad.

- Energía solar pasiva, el uso más antiguo de la energía solar consiste en beneficiarse del aporte directo de la radiación solar y es llamada energía solar pasiva. Para que un edificio se beneficie con muy buena radiación solar, se debe tener en cuenta la energía solar en el diseño arquitectónico: fachadas dobles, orientación hacia el sur y superficies vidriadas, entre otros. El aislamiento térmico desempeña un papel importante para optimizar la proporción del aporte solar pasivo en calefacción y en la iluminación de un edificio. Una casa o un edificio que posean energía solar pasiva estarán contribuyendo a un importante ahorro energético.
- Cargadores de baterías, ventiladores, lámparas de jardín, bombas hidráulicas, hoy en día, casi todo puede funcionar con energía solar. Ya son muchas personas las que llevan en su bolso un Smartphone con un cargador solar.
- Paneles solares fotovoltaicos, cada día se encuentran más en los techos (Altomonte, 2017).

2.2.2.3 Ventajas de la Energía solar

Algunas de las principales ventajas de la energía solar y su aprovechamiento respecto a otro tipo de energías son:

- Es una fuente de energía renovable e inagotable.
- Es una energía totalmente limpia. Para producir energía solar no hace falta ningún tipo de proceso químico ni se expulsan sustancias contaminantes a la atmósfera, como en el caso de los combustibles fósiles.
- La energía solar no contamina, no contribuye al calentamiento global ni al efecto invernadero.
- Se aprovecha a través de un sistema que recoge la radiación proveniente del sol y la transforma en calor.
- Dadas sus características, la energía solar tiene la capacidad para reducir la dependencia energética de países y hogares.

- Puede servir como autoabastecimiento, tanto como sistema principal como de apoyo/alternativo (Vega de Kuyper y Ramírez, 2014).
- Los sistemas de energía solar son sencillos de instalar y relativamente económicos. Es cierto que se necesita un desembolso inicial para hacer la instalación, pero una vez en funcionamiento se calcula que su plazo de amortización ronda los 6-10 años.
- El mantenimiento de los paneles solares y del resto de la instalación no es excesivamente complicada. La energía solar no necesita además ningún otro tipo de carburante o energía alternativa para funcionar, es totalmente autónoma.
- No contamina el aire, el agua ni la Tierra. Tampoco produce contaminación lumínica ni acústica, ya que no produce ningún ruido.
- Es una energía con una gran versatilidad, ya que se pueden instalar desde pequeños sistemas consistentes en pequeños paneles solares de uso casero, hasta realizar instalaciones mucho más extensas y complejas.
- La tecnología usada para el aprovechamiento de la energía solar aún está en desarrollo, con muchísimo potencial para crear gran cantidad de puestos de trabajo: investigación y desarrollo, logística, instalación de sistemas, transporte, etcétera.

2.2.2.4 Desventajas de la energía solar

Está claro que la energía solar debe ser una de las energías del futuro por todas las cualidades que posee. Sin embargo, en la actualidad también presenta algunos inconvenientes, aunque prácticamente todos se podrían llegar a solventar, algo que nunca podrán hacer los recursos fósiles con el problema de la contaminación o el calentamiento global.

Algunos de los aspectos a mejorar de la energía solar son:

- No es un tipo de energía que pueda ser aprovechado en todas las zonas, ya que depende de la fuerza e incidencia de los rayos solares.
- Los paneles solares pueden suponer un importante ahorro a medio y largo plazo (se amortizan en un plazo que ronda los 7 años), pero también lo es que necesitan de una importante inversión inicial, lo que echa a muchas personas para atrás, sobre todo si unimos esto al desconocimiento y, por tanto, desconfianza acerca del rendimiento que podría dar este tipo de energía (Altomonte, 2017).
- Los grandes inconvenientes de la energía solar es su reducida implantación. En un mundo dominado por las industrias que utilizan recursos fósiles, menos efectivos y más contaminantes, de momento parece que la energía solar apenas tiene cabida.
- Se trata de una energía relativamente nueva, que aún no se ha desarrollado demasiado y que aún tiene mucho margen de mejora, en lo referente a capacidad de producir energía, infraestructuras, etcétera.
- Parece que el sector de la energía solar y de las renovables en general, la mayoría de las iniciativas surgen a pequeña escala, Las empresas no se atreven usar la energía solar, debido a la escasa implantación a nivel de hogar y de empresa (López, 2010).

2.2.2.5 Aplicaciones de la energía solar

Las aplicaciones de la energía solar térmica son muy amplias y cada día se avanza más en este sentido ya que nos enfrentamos un grave problema, el cambio climático. Además, está claro que la energía solar es gratuita e indefinida. En la actualidad la energía solar es utilizada para (Montecinos, 2018):

- Calentar el agua de las piscinas de exterior o interior.
- Calefacción por suelo radiante o radiadores.

- Calentar el agua de uso doméstico para la ducha, fregar platos, lavarse las manos, etc.
- Hacer funcionar aparatos de refrigeración.
- Secaderos de productos agrícolas.
- Uso industrial, por ejemplo, en hornos solares.
- Refrigeración por medio de energía solar
- Transformar este calor en energía eléctrica.
- Desalinización mediante energía solar
- Producción para Venta a Red.

2.2.3 Energía geotérmica

Es un tipo de energía renovable que se obtiene aprovechando el calor que existe en el interior de la Tierra. El proceso de generación parte del núcleo, que es una masa incandescente que irradia calor desde el interior hacia el exterior, donde su temperatura irá aumentando en una progresión de 2 a 4°C por cada 100 metros. El agua se calienta y experimenta un cambio de estado pasando a vapor, que sale con una fuerte presión hacia la superficie en forma de chorro o como fuentes termales. El potencial de producción de energía geotérmica (60 mW/m²) es bastante inferior a la del sol (340 W/m², aproximadamente). Sin embargo, este potencial asciende, en algunos lugares a 200 mW/m² y crea una acumulación de calor en los acuíferos que puede ser explotado industrialmente (twenergy, 2019).

El ritmo de explotación es siempre superior a la contribución del flujo de calor, y se debe tener cuidado de no densificar demasiado las zonas de explotación, que llevarían decenas o centenas de años para recuperarse.

Los lugares donde se acumula mayor concentración de energía geotérmica se les llama Yacimientos y estos pueden ser de tres formas:

- Yacimientos de agua caliente
- Yacimientos secos

- Géiseres.

2.2.3.1 Yacimientos de Agua Caliente

Estos pueden ser en forma de fuente, en su momento fueron utilizados por el Imperio Romano en forma de baños termales, donde a través de distintas tuberías el agua caliente era conducida hasta las aguas termales, y por medio de agua fría se buscaba la temperatura ideal para los baños.

Otro tipo de yacimiento de agua caliente son los acuíferos subterráneos, se trata de agua subterránea a altas temperaturas que se encuentran a baja profundidad. Para poder extraer el agua de un acuífero subterráneo será necesario realizar dos pozos; por uno de los pozos se extraerá el agua caliente subterránea y una vez utilizado su poder calorífico y tras haberse enfriado será devuelta al acuífero a través del segundo pozo. De esta forma conseguiremos que el acuífero nunca se seque ya que constantemente estaremos devolviendo el agua al mismo donde volverá a calentarse y a repetirse el ciclo (Díaz, 2015).

2.2.3.2 Yacimiento Seco

Como su propio nombre indica, no necesita de agua para generar energía geotérmica, esto se debe a que realmente es un tipo de producción artificial, se trata de encontrar a baja profundidad un lecho de roca caliente seca, pero con elevada temperatura. Estas condiciones pueden darse cuando la fractura de alguna capa el magma interior rellena esos huecos, quedando las piedras superiores expuestas al calor, una vez encontrado el lecho de roca caliente, se procederá a realizar una perforación hasta alcanzarlo, por otro extremo se realizará un segundo pozo que alcanzará también la roca caliente. Por una de las perforaciones se introduce agua fría que, al entrar en contacto con la roca caliente, la transforma en vapor de agua, que saldrá a presión por el segundo pozo perforado (Roldan, 2012).

2.2.3.3 Géiser

Son una fuente de agua termal con la particularidad de arrojar columnas de vapor y chorros de agua caliente. Cuando una gran cantidad de agua subterránea se vaporiza, ésta es empujada fuertemente hacia el exterior, por lo que podríamos definir un géiser como un chorro de agua hirviendo, este fenómeno se produce en zonas especialmente volcánicas, donde a través de un orificio, cada cierto periodo de tiempo, expulsa violentamente una columna o chorro de agua y vapor, provocando un gran estruendo. El motivo es porque las aguas del subsuelo se calientan al entrar en contacto con las rocas, que se mantienen calientes gracias al magma que circula bajo ellas, esta agua se calienta y volatiliza de forma prácticamente instantánea y asciende rápidamente hacia la superficie, atravesando las rocas porosas por medio del fenómeno de convección. La velocidad con la que alcanza la superficie hace que esta salga en forma de columna de agua y vapor, cuando la columna de agua ha salido, el agua que queda bajo la tierra se enfría y la erupción de agua cesa. A partir de aquí, el fenómeno comienza de nuevo hasta que el agua vuelve a alcanzar otra vez el punto de ebullición (Altomonte, 2017).

2.2.3.4 Ventajas

- Por un lado, la energía geotérmica es una de las energías consideradas como “limpias”, aunque no lo sea tanto como la solar o la eólica.
- Para su producción no se utilizan recursos fósiles ni se realizan procesos químicos de combustión.
- La producción de energía por medio del calor del interior de la Tierra, no provoca la emisión de gases de efecto invernadero y por tanto, no produce daños en la capa de ozono, ni contribuye al cambio climático y al calentamiento global.
- Es una energía que tampoco produce casi residuos, al menos los produce en mucha menor medida que otras energías que usan recursos fósiles o materiales radiactivos.

- Los costos de producción de electricidad a partir de este tipo de energía son muy baratos, más económicos que en las plantas de carbón o en las centrales nucleares.
- La energía geotérmica es la que más recursos ofrece. Se cree que la energía geotérmica existente en la actualidad, es capaz de ofrecer más energía que todo el petróleo, gas natural, carbón y uranio del mundo juntos (Altomonte, 2017).

2.2.3.5 Desventajas

- Uno de sus principales inconvenientes, es el escaso desarrollo que presenta este tipo de energía, que, casi ni se le menciona entre las energías renovables.
- Otro de los problemas es que podrían darse casos de accidentes o fugas, que podrían provocar la expulsión de ácido sulfhídrico, arsénico u otras sustancias contaminantes.
- El ácido sulfhídrico es una sustancia que en dosis elevadas es letal para el ser humano, mientras que el arsénico o el amoníaco podrían contaminar la tierra y el agua colindantes.
- Por otra parte, están las limitaciones para su implantación. Las plantas de energía geotérmica deben instalarse en zonas donde el calor del subsuelo sea muy alto. En ocasiones, este tipo de plantas también deben ubicarse en zonas de difícil acceso.
- En relación a su ubicación, también hay que destacar que este tipo de energía no se puede transportar y debe ser consumida en el mismo lugar que se produce. Es decir, las plantas están pensadas para el abastecimiento local.
- También hay que destacar que, para construir las instalaciones, infraestructuras y proceder a la extracción del calor de las rocas y el magma terrestre, es necesario realizar importantes modificaciones en el terreno y en el paisaje que causan un gran impacto estético en el medio ambiente.

- Hay que señalar que, a pesar de que aún existe gran cantidad de roca magmática y calor en el interior de la tierra, la energía geotérmica no es una energía inagotable (Díaz, 2015b).

2.2.3.6 Aplicaciones de la energía geotérmica

Existen varios usos de la energía geotérmica, entre los que se encuentra la refrigeración, la calefacción y la generación de electricidad, pero dos de los más importantes son los siguientes:

- Aguas termales: Son utilizadas como destinos turísticos, donde se presume que contienen grandes cantidades de minerales y posibles fuentes medicinales.
- Climatización: Es uno de los usos más comunes y se trata de la climatización de una vivienda o local, a través del aprovechamiento de las temperaturas del subsuelo que se encuentra a 1 o 2 metros aproximadamente de la superficie. Para este proceso es importante usar una bomba de calor geotérmica, que intercambia las temperaturas entre la parte superior e inferior de la superficie.
- Industria: Puede ser utilizada en industrias que utilicen calor y no necesiten temperaturas demasiado altas (Díaz, 2012).

2.2.4. Bioenergía

La bioenergía es un tipo de energía renovable que se produce a partir del aprovechamiento de la materia orgánica e industrial formada en algún proceso biológico o mecánico, generalmente de las sustancias que constituyen los seres vivos o sus restos y residuos.

Sus formas más conocidas son:

- Biocombustibles
- Biodiesel
- Bioetanol
- Biogás o Biomasa.

2.2.4.1 Biocombustibles

Son obtenidos a partir de biomasa vegetal o animal, renovables, que permiten reemplazar a combustibles fósiles obtenidos del petróleo. Para su obtención, pueden utilizarse especies de uso agrícola, tales como el maíz y la mandioca, o plantas oleaginosas como la soja, el girasol o las palmas. También pueden emplearse especies forestales como el eucalipto y los pinos. La utilización de biocombustibles constituye un ciclo cerrado de carbono (Vega de Kuyper y Ramírez, 2014).

2.2.4.2 Biodiesel

Es un biocombustible líquido alternativo, producido a partir de recursos renovables y domésticos tales como aceites vegetales o grasas animales de primera o segunda generación (sin o con uso previo). No contiene petróleo, es biodegradable, renovable y no tóxico (libre de azufre y compuestos aromáticos potencialmente cancerígenos).

2.2.4.3 Bioetanol

También llamado etanol de biomasa, es el principal producto obtenido de la fermentación y destilación del almidón (azúcares), contenido en la materia orgánica (biomasa), previamente extraído por procesos enzimáticos. Se obtiene a través de las siguientes materias primas: féculas y cereales (trigo, maíz, centeno, yuca, patata, arroz) y azúcares (melazas de caña, melazas de remolacha, sirope de azúcar, fructuosa, suero).

2.2.4.4 Biogás

Conocido como biometanol, es el producto gaseoso de la descomposición anaeróbica (descomposición sin oxígeno) de materia orgánica.

2.2.4.5 Biomasa

Es la primera fuente de energía que conoció la humanidad. La biomasa de la madera, residuos agrícolas y estiércol continúa siendo la fuente principal de energía y materia útil en países poco industrializados. La biomasa como recurso energético, puede clasificarse en natural, residual y cultivos energéticos:

- Biomasa Natural: Es la que se produce en la naturaleza sin intervención humana.
- Biomasa Residual: Es el subproducto o residuo generado en las actividades agrícolas (poda, rastrojos, etc.), silvícolas y ganaderas; residuos de la industria agroalimentaria y de la industria de la madera (aserraderos, fábricas de papel, muebles, etc.) así como residuos de depuradoras y el reciclado de aceites.
- Cultivos Energéticos: Son aquellos que están destinados específicamente a la producción de biomasa.
- Aplicaciones de la bioenergía (Morales et al. 2017).

La biomasa puede utilizarse como fuente para la generalización de diversos tipos de energía tanto para la industria como para el uso doméstico (figura 2.1).

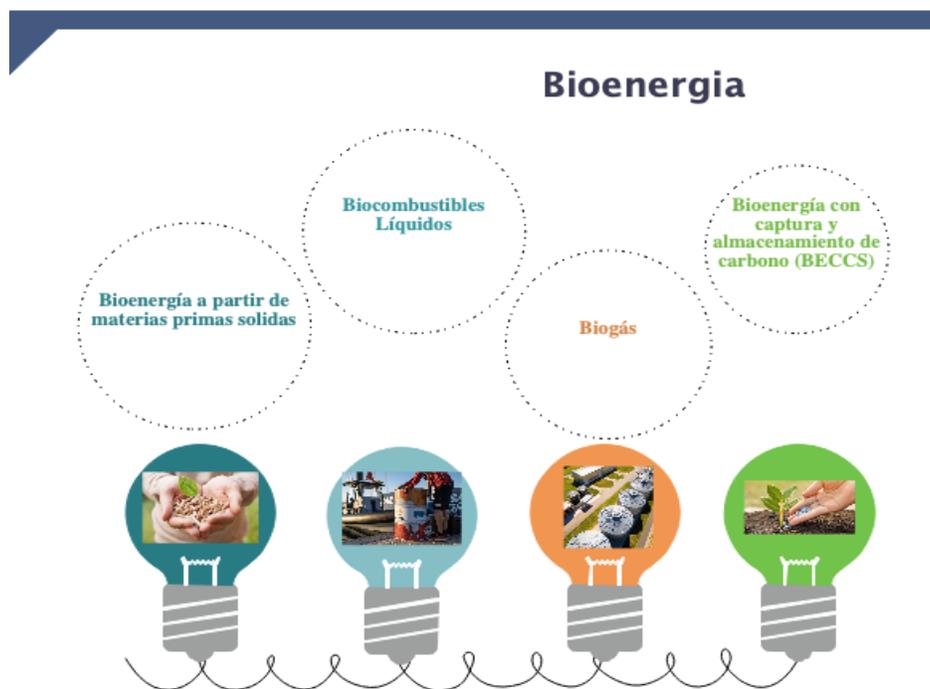


Figura 2.1 Aplicaciones de la energía por bioenergía

Fuente: Elaboración Propia

2.2.5 Mareomotriz

La energía mareomotriz es la energía procedente de las fuerzas de las mareas y viento del océano que son provocadas por la atracción gravitatoria del sol y, principalmente de la luna, la cual acciona unas turbinas que están conectadas a un generador eléctrico, es renovable y limpia. No produce contaminantes ni gases de efecto invernadero que puedan perjudicar al medio ambiente, por lo que es otra de las alternativas al uso de energías combustibles fósiles (González, 2009).

Sus formas más conocidas son:

- Energía Mareomotriz: aprovecha los niveles de subida y bajada de las mareas que son producidas por la atracción de gravedad por el sol y la luna ejercida en nuestro planeta. Este fenómeno es previsible fácilmente y con este movimiento del agua se utiliza para transformarla en electricidad.
- Energía Undimotriz: esta también se conoce como energía ola motriz, que es la que aprovecha el movimiento de las olas. En esta situación, la radiación

del sol genera un calentamiento lo que existe una diferencia de temperaturas en la tierra que provoca un desplazamiento de las masas de aire y la formación de vientos que causan el oleaje.

- Energía de Corrientes: Este tipo es la utilización de la energía cinética de las corrientes marinas.
- Energía del Gradiente Térmico o Maremotérmica: está basado en el principio de diferencias de temperaturas entre las aguas de la superficie y las aguas profundas del mar, las cuales es aprovechar la energía térmica del mar.
- Energía del gradiente salino o energía azul.: básicamente es la obtención de la diferencia que existe entre la concentración de sal que hay en el agua de mar y la de los ríos.

2.2.5.1 Ventajas

- Es una energía renovable y limpia
- Fuente de energía inagotable que no emite gases de efecto invernadero
- No requiere de combustibles adicionales por ende es respetuosa en el entorno.
- Es altamente predecible los ciclos fáciles de predecir por ende se conoce con antelación la potencia a generar.
- Es eficaz a bajas velocidades para la generación electricidad.
- Las centrales mareomotrices tienen una vida útil muy larga (Díaz, 2015).

2.2.5.2 Desventajas

La energía mareomotriz presenta algunos inconvenientes que son:

- Se requiere de grandes inversiones iniciales y elevados presupuestos para su puesta en marcha.
- Impacto medioambiental en las bahías cerradas por las presas
- Proximidad a tierra firme
- Impacto visual y estructural dentro del paisaje costero

- La carestía de las nuevas tecnologías
- La construcción de diques es necesaria para hacer una presa
- No todas las regiones o zonas pueden ser viables para su construcción.
- Las presas funcionan durante 10 horas al día solamente
- Produce efecto negativo en la flora y fauna marina, lo que produce cambios en los ecosistemas (twenergy, 2019).

2.3 DESARROLLO DE LA ENERGIA FOTOVOLTAICA

La energía solar se conoce desde tiempos remotos, los primeros vestigios que se tienen de su uso es de los griegos, quienes desarrollaron construcciones para aprovechar la luz y el calor. De los primeros científicos en descubrir que ciertos materiales podían generar corriente eléctrica cuando era expuesto al sol fue Edmond Becquerel Alexander (1839) a través de un electrodo, más adelante Willoughby Smith y W. Grylls Adams descubrieron el efecto fotovoltaico en el selenio el cual es un medio sólido (1873-1885). Charles Fritts desarrolló la primera célula solar (1905), los Laboratorios Bell desarrollan la primera celda solar con la que hicieron funcionar un radio (1954) con una eficiencia del 6%, en la década de los 90's se llega al desarrollo de celdas con una eficiencia mayor al 20% las cuales fueron aplicadas en naves espaciales de Estados Unidos y en el año 2014 la Universidad de Michigan desarrolló paneles totalmente transparentes. En la figura 2.2 se muestra más a detalle esta línea de tiempo de los avances tecnológicos para aprovechar la energía solar en la generación de energía eléctrica.



Figura 2.2 Evolución de la energía fotovoltaica

Fuente: Elaboración Propia

2.4 MARCOS REGULATORIOS Y NORMATIVOS DE LAS ENERGIA RENOVABLES

Las fuentes renovables de energía han constituido una alternativa a los combustibles fósiles que auxilian a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, transformar el suministro energético y disminuir la dependencia respecto de los mercados —volátiles y poco fiables— de combustibles fósiles (en particular, el petróleo y el gas). Por otra parte, la legislación europea relativa a la promoción de las energías renovables ha estado evolucionado notablemente en los últimos quince años. Los líderes de la Unión Europea establecieron en 2009 el objetivo de una cuota del 20 % de energías renovables en el consumo de energía total de la Unión Europea en 2020, y en 2018 se acordó que este objetivo fuera del 32 % para 2030. En julio de 2021, a la vista de las nuevas ambiciones climáticas de la Unión Europea, se propuso a los colegisladores que dicho objetivo se revisara y pasara a ser del 40 % para 2030. El futuro marco de actuación para el período posterior a 2030 está en proceso de debate (Parlamento Europeo, 2022).

2.4.1 Marcos regulatorios y normativos de las energías renovables en el mundo.

Sabiendo que las normativas y marcos legales son los lineamientos que permiten desarrollar sistemas que benefician a la sociedad, bajo un esquema legal y regulatorio que satisfará tanto en cuestiones legales como sociales. Respecto a la regulación de la energía, los marcos regulatorios en los países europeos han tomado la batuta en la directriz de apoyar e incentivar todas aquellas actividades que se refieren a investigación, desarrollo, producción y uso de las energías renovables. Las políticas que se trazaron han sido en la creación de un conjunto de instrumentos de distintos tipos que responden a los objetivos y metas particulares establecidas, tales como el establecimiento de primas y tarifas fijas beneficiosas en las inversiones de las energías renovables. En los siguientes apartados se explican las normativas y marcos legales de algunos países.

- Unión europea

La legislación para fomentar las energías renovables ha estado cambiando poco a poco, de acuerdo a la transición ecológica que cada uno de los países está tomando y adaptándose a esta transición y a su vez como se está afectando en especial a la ley de la energía solar. En Europa han creado por presiones y objetivos de la Unión Europea una agenda para combatir el cambio climático o solo porque realmente quieren moverse hacia un consumo de energía más verde. La cuestión es que en Europa están creciendo en instalaciones y consumo, entre otras cosas, gracias a una legislación de la energía renovable favorable a que ocurra este cambio.

La regulación referente a las energías renovables se encuentra en un continuo cambio, es una tecnología que evoluciona muy rápidamente, lo que resulta que se aplica a más usos y se forman o se generan cada vez más parques para la producción de energía verde. Por tales motivos en la Unión Europea se han creado regulaciones para la creación, generación, distribución hasta llegar al consumo de este tipo de energías especialmente la solar fotovoltaica, en algunas fuentes de información sobre regulación de la energía solar fotovoltaica se encuentra reales decretos, listados interminables en donde se han ido modificando y completando algunos huecos que se tienen y que se siguen teniendo en algunos aspectos.

Con la cumbre de París en 2015, todos los miembros de la unión europea llegaron al acuerdo, de conseguir una Europa con cero emisiones de carbono neutras para el 2050. Para cumplir ese objetivo su plan estratégico marca un nivel de descarbonización que se deberá cumplir al final de cada década.

En 2019, la Unión Europea realizó una actualización integral completa de su marco de política energética para facilitar la transición de los combustibles fósiles a energías más limpias y así cumplir con los compromisos obtenidos por el Acuerdo de París de la Unión Europea para la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. El acuerdo sobre este nuevo reglamento energético, denominado paquete de energía limpia para todos los europeos, marcó un paso significativo

hacia la implementación de la estrategia de unión energética, publicada en 2015. Con base en las propuestas de la Comisión publicadas en noviembre de 2016, este paquete consta de ocho actos legislativos. Tras el acuerdo político del Consejo y el Parlamento Europeo (entre mayo de 2018 y mayo de 2019) y la entrada en vigor de las diferentes normas de la Unión Europea, estos países tienen entre 1 y 2 años para transponer las nuevas directivas a la legislación nacional. Las nuevas reglas su intención era de atraer beneficios considerables desde la perspectiva del consumidor, desde una perspectiva ambiental y económica. La legislación también subraya el liderazgo de la Unión Europea en la lucha contra el calentamiento global y proporciona una contribución importante a la estrategia a largo plazo de la Unión Europea para lograr la neutralidad de carbono para 2050 (European Commission, 2019).

El paquete también incluyó un sistema de gobernanza sólido para la unión de la energía, en virtud del cual cada Estado miembro debe establecer planes nacionales de energía y clima (PNEC) e integrarlos para el decenal 2021 a 2030. Basándose en una estructura común, dichos planes describen cómo los países de la Unión Europea pueden cumplir sus objetivos respectivos en todas las dimensiones de la unión energética, incluida una visión a más largo plazo hacia 2050. El Reglamento sobre la gobernanza de la Unión de la Energía y la Acción por el Clima (UE) está en vigor desde diciembre de 2018.

Proceso de adopción de los actos jurídicos

Los diferentes pasos en el proceso de adopción para cada uno de los ocho expedientes se muestran en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Paquete de energía limpia para todos los europeos - proceso legislativo

	Propuesta de la Comisión Europea	Negociaciones interinstitucionales de la UE	Adopción del Parlamento Europeo	Adopción del Consejo	Publicación del Diario Oficial
Rendimiento energético en edificios	30/11/2016	Acuerdo Político	17/04/2018	14/05/2018	19/06/2018 - Directiva (UE) 2018/844
Energía renovable	30/11/2016	Acuerdo Político	13/11/2018	12/04/2018	21/12/2018 - Directiva (UE) 2018/2001
Eficiencia energética	30/11/2016	Acuerdo Político	13/11/2018	12/04/2018	21/12/2018 - Directiva (UE) 2018/2002
Gobernanza de la Unión de la Energía	30/11/2016	Acuerdo Político	13/11/2018	12/04/2018	21/12/2018 - Reglamento (UE) 2018/1999
Regulación de la electricidad	30/11/2016	Acuerdo Político	26/03/2019	22/05/2019	14/06/2019 - Reglamento (UE) 2019/943
Directiva de electricidad	30/11/2016	Acuerdo Político	26/03/2019	22/05/2019	14/06/2019 - Directiva (UE) 2019/944
Preparación ante riesgos	30/11/2016	Acuerdo Político	26/03/2019	22/05/2019	14/06/2019 - Reglamento (UE) 2019/941
Agencia para la Cooperación de los Reguladores de la Energía ACER	30/11/2016	Acuerdo Político	26/03/2019	22/05/2019	14/06/2019 - Reglamento (UE) 2019/942

Fuente: Elaboración propia, (European Commission, 2019)

Además de los actos jurídicos del paquete Energía limpia para todos los europeos, la Comisión ha puesto en marcha una serie de iniciativas no legislativas destinadas a facilitar la transición a las energías limpias y garantizar que sea una transición justa. Éstos incluyen

- Las regiones del carbón en transición
- La iniciativa Energía limpia para las islas de la Unión Europea
- Medidas para definir y controlar mejor la pobreza energética en Europa

De acuerdo a la European Commission (2020), para fines del 2020 se tenía el objetivo de conseguir que el 20% de la energía consumida, debía ser proveniente de fuentes renovables cosa que no se cumplió por razones de la pandemia, pero ya están las proyecciones para el 2030 las cuales deben de alcanzar un 32% de energía consumida procedentes de fuentes renovables, para que puedan cumplir con estos objetivos la Unión Europea en la actualización del marco político de la energía, con esto puedan facilitar el cambio estructural para que los distintos países tengan una transición hacia el consumo de energía limpia. Y todo esto se debe de llevar a cabo a través de los planes nacionales de energía y clima, además unido a esto el incremento de la inversión en estos sectores para así puedan cumplir con dichos objetivos ambiciosos que se plantearon hacia la próxima década en el consumo. Cabe señalar que todos estos objetivos planteados se van a revisar en el 2023 lo que resultara con seguridad que sean más exigentes todavía. La energía solar fotovoltaica es de especial interés para Europa, puesto que es una de las 3 principales fuentes renovables que más le han apostado, junto con la hidráulica y la eólica, además Alemania y España por mencionar alguna de ellas, son líderes mundiales en la generación de energía solar fotovoltaica que llevara a una Europa neutra para el 2050. Esto es gracias a los avances tecnológicos sobre las placas solares, el abaratamiento de instalación, el recurso natural tan predecible como es el sol y la nueva regulación de autoconsumo son estos factores fundamentales.

Marco regulatorio europeo actual

La política energética de Europa está regida por la Unión Europea, la cual está centrada en obtener un equilibrio en tres vertientes principalmente: el crecimiento de la seguridad de suministro, la reducción del impacto del cambio climático y el desarrollo de la competitividad económica.

En la proyección que se tenía para el 2020, se estableció en la Directiva 2009/28/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, el 23 de abril de 2009, los objetivos globales nacionales obligatorios en relación con la cuota de energía procedente de fuentes renovables en el consumo de energía final. Para lograr estos objetivos, la UE promociona activamente las energías renovables como lo menciona en “The Green Impact: How Renewable Sources Are Changing EU Electricity Prices” del 2015, que el autoconsumo toma un papel principal, lo cual es impulsado conjuntamente con las políticas de almacenamiento, los cuales son los principales impulsores de la transición energética (Muñoa, 2018).

Cada uno de los países de la UE cuentan con diferentes recursos disponibles y con únicos mercados energéticos lo que esto conlleva que debe de seguir sus propias rutas a la hora de querer cumplir sus objetivos en las metas establecidas por para de sus gobernantes, por lo que cada uno de ellos entregaron un plan de acción nacional detallado de las acciones a cumplir según la European Commission (2020).

Por consiguiente, la política financiera seguida por los bancos se enfocó en estimular y expandir la participación de nuevos actores en el perfil energético. En la tabla 2.2 se muestra un resumen de estos instrumentos de acuerdo a los objetivos de política, y cómo podemos observar que como se acude a las tarifas de entrada (feed-in tariffs), de cuotas obligatorias, impuestos a las emisiones de CO₂, cargo sobre emisiones, y permisos de emisiones transables (negociables), al momento de apoyar los objetivos vinculados a la promoción de fuentes de energía renovables. Mientras en las demás opciones de las políticas resaltan el uso de metas de desempeño u objetivos de participación de las fuentes de energía renovable en el balance energético; de esta manera también se contempla el uso de acuerdos voluntarios para instalar capacidades de fuentes de energía renovables y de campañas de información, de educación y de validación de energía verde, para los instrumentos regulatorios respectivamente (Somoza y Betancourt. 2017).

Tabla 2.2 Opciones y objetivos de políticas europeas

Opciones de Política					
Objetivos de política	Instrumentos economicos	Desarrollo y difusión tecnológica	Regulatorios	Acuerdos voluntarios	Información y otros instrumentos
Eficiencia energética	Mayores impuestos a la energía Menores Subsidios a la energía Carga a las emisiones de las plantas generadoras de electricidad Incentivos fiscales Permisos emisiones transables	Generación mas limpia a partir de combustibles fosiles	Estandares de minima eficiencia para centrales eléctricas Prescripción para mejores tecnologías disponibles	Acuerdos voluntarios para mejorar la eficiencia de las plantas de generación eléctrica	Campañas de Información y educación
Cambio de fuente energética	Impuestos a las emisiones de CO2 y metano Cargo sobre emisiones Permisos de emisiones transables Incensivos fiscales	Incremento de generación a partir de ER, nuclear e hidrogeno de fuentes limpias	Portafolio de estándares de combustibles para la generación de electricidad	Acuerdos voluntarios de cambio de portafolio de combustibles	Campañas de Información y educación
Energías Renovables	Tarifas de entrada Cuotas obligatorias Impuestos a las emisiones de CO2 Cargo sobre emisiones Permisos de emisiones transables	Incremento de la generación a partir de ER	Metas (objetivos)	Acuerdos voluntarios para instalar capacidades de Energías Renovables	Campañas de Información y educación Validación de energía verde
Captura y Almacenamiento de Carbono	Cargo sobre emisiones Permisos de emisiones transables	Secuestro químico y biologico de carbono Secuestro del carbono en las profundidades oceanicas	Restricciones de emisiones en los puntos principales de las fuentes		Campañas de Información

Fuente: elaboración propia (Ren21, 2020)

Por otra parte, los múltiples países de América Latina y el Caribe, beneficiados por sus recursos excepcionales y por su marco regulatorio avanzado, han estado experimentando un rápido crecimiento en proyectos de energía solar, a lo largo de los últimos años. Los proyectos a escala de servicios públicos son considerados ahora comercialmente viables y a su vez reciben financiamiento privado, mientras la aplicación de energía solar distribuida crece rápidamente. Sin embargo, la caída de los precios de energía solar sigue presionando a la industria y la incertidumbre macroeconómica, seguirá poniendo a prueba su estabilidad. Mientras tanto, los desarrolladores de energía solar se consolidan, para ganar una mayor participación del mercado y lograr rentabilidad. Los caminos de los cuatro países de América Latina y el Caribe que buscan la bancabilidad (financiación) de la energía solar pueden proporcionar lecciones para el resto de los países los cuales son:

- Chile

En Chile, el mercado ha experimentado un crecimiento significativo. A partir de la proclamación de la Ley de Energías Renovables No Convencionales de 2008, donde en ese año la capacidad instalada de energía solar fotovoltaica aumento de casi cero, en marzo de 2017 a más de 1.6 gigavatios. Así, los precios que se pagan hoy a los proyectos solares son tan competitivos como los de otras fuentes de energía convencionales. La calidad del recurso solar, la estabilidad regulatoria y la disponibilidad de los Contratos de Compraventa de Energía (CCEs) con las empresas de distribución privadas identificadas por la Comisión Nacional de Energía (CNE) de Chile son la plataforma para que la energía solar en Chile sea bancable, y está disponible el financiamiento para bancos comerciales, locales e internacionales. El problema es que son limitados los CCEs bancables, la sobreoferta durante las horas solares se agrava por las limitaciones de transmisión y los bancos comerciales están experimentando una saturación de sus carteras. Muchos desarrolladores evaden estas barreras, enfocándose en los proyectos calificados como Pequeños Medios de Generación Distribuidos, que ofrecen precios estables de mercado para ciertos proyectos bajo 9 MW. Además, las tecnologías de almacenamiento están a punto de ser el próximo motor del mercado (Robberechts, 2020).

- Brasil

En Brasil las licitaciones de energía promovidas por la Agencia Brasileña de Regulación de la Electricidad (ANEEL por sus siglas en portugués) han incentivado con éxito el desarrollo de la energía eólica, pero la energía solar fotovoltaica ha despuntado con lentitud. El riesgo político, económico y regulatorio ha frenado su crecimiento.

Además, debido a los problemas económicos de Brasil que ha tenido, el financiamiento tradicional a largo plazo de los bancos comerciales no está disponible a tasas que hagan viable los proyectos. En las licitaciones de energía con CCEs los desarrolladores solares, han buscado financiamiento del Banco de

Desarrollo (BNDES) de Brasil, porque ofrece tasas de interés sufragadas y bajo otros términos favorables. A pesar de esto tiene un crecimiento limitado los requerimientos de contenido local del BNDES y la incertidumbre respecto de su capacidad financiera, para apoyar un número significativo de nuevos proyectos solares. Han estado buscando los desarrolladores otras fuentes de financiamiento, incluyendo multilaterales, bancos regionales de desarrollo en Brasil, así como financiamiento de crédito a la exportación. Los factores claves, que limitan el suministro de deuda a largo plazo de los bancos comerciales, son: la capacidad de prestar directamente en moneda local (los ingresos en virtud de los CCEs se pagan en reales) y la preocupación por la estabilidad económica a largo plazo en Brasil. La institución del sector privado del Grupo Banco Interamericano de Desarrollo (BID Invest) está trabajando para promover fuentes alternativas de financiamiento para proyectos solares en el país, donde ofrecen una deuda a largo plazo en reales, así como garantías que respaldan la emisión de bonos de infraestructura para apoyar la participación de inversionistas brasileños (Robberechts,2020).

- Argentina

La situación en Argentina es parecida a la de Brasil, en lo que respecta a las licitaciones que promueven las energías renovables. Del programa argentino de licitaciones RenovAR las rondas 1.0 y 1.5 atrajo de los desarrolladores una gran atención y participación. Hasta ahora se ha concebido un total de 916 megavatios de energía solar. A pesar de que las preocupaciones sobre el riesgo político y ciertos aspectos de la PPA RenovAR, los bancos comerciales han sido menos entusiastas, pese a la disponibilidad de una garantía del Banco Mundial para respaldar parcialmente el pago. En general sólo está disponible con garantías de patrocinadores o en plazos muy cortos, el financiamiento de los bancos comerciales para renovables, que son para la viabilidad del proyecto insuficientes. De la misma forma que en Brasil, BID Invest ofrece préstamos a largo plazo a proyectos solares en Argentina para establecer un historial de financiamiento de proyectos exitosos y para movilizar préstamos comerciales para futuros proyectos. Contar con patrocinadores que tengan un historial exitoso en Argentina y un compromiso a largo

plazo con el proyecto son factores que apoyan la bancabilidad. El compromiso de la región con la inversión en energías renovables que se trazaron para el 2017 pareció fuerte, pero la expansión hacia mercados jóvenes fue clave, por lo que BID Invest lanzó su primer proyecto solar en el Salvador, con esto continúa explorando mercados para promover la energía sostenible y factible en América Latina y el Caribe. Así continúan las interrogantes acerca de los precios bajos del petróleo y del gas junto con los aumentos inminentes de la tasa de interés. El desarrollo de productos financieros flexibles, el apoyo a la transmisión y la diversificación de financiamiento en diferentes monedas locales determinará si la energía solar podrá continuar creciendo a su ritmo actual (Robberechts,2020).

2.4.2 Marcos regulatorios y normativos de las energías renovables en México

La ubicación geográfica y las condiciones meteorológicas de nuestro país, así como un marco legal favorable para el sector energético, lo convierten en uno de los territorios con mayor potencial para aprovechar la radiación solar. Al igual que Chile, México tiene un marco regulatorio revisado para promover la energía renovable. El carácter no probado de la nueva regulación mexicana no ha limitado la bancabilidad de los proyectos solares, a través de CCEs con la Comisión Federal de Electricidad (CFE) o con empresas privadas con solvencia financiera. Muchos proyectos están siendo financiados por bancos locales. El desafío principal para los desarrolladores solares ha sido la competitividad del mercado, lo que permite rendimientos muy bajos, que dependen del acceso a financiación de largo plazo (hasta 20 años).

Por otra parte, a través del tiempo ha habido una evolución de la regulación en materia de energía en México, desde 2012 donde surge Ley General de Cambio Climático (LGCC) para mitigar el efecto invernadero hasta el 2018 con los Certificados de Energías Limpias (CEL) y el fallo de la primera subasta de mediano plazo, así como los ajustes a la Ley de Transición Energética (LTE) en el 2014 y 2015, pasando por la apertura del mercado a corto plazo, como los fallos de la

primera y segunda subasta de largo plazo (SLP) en la figura 2.3 se muestra la evolución de regulación en materia de energía (gíz, 2018).

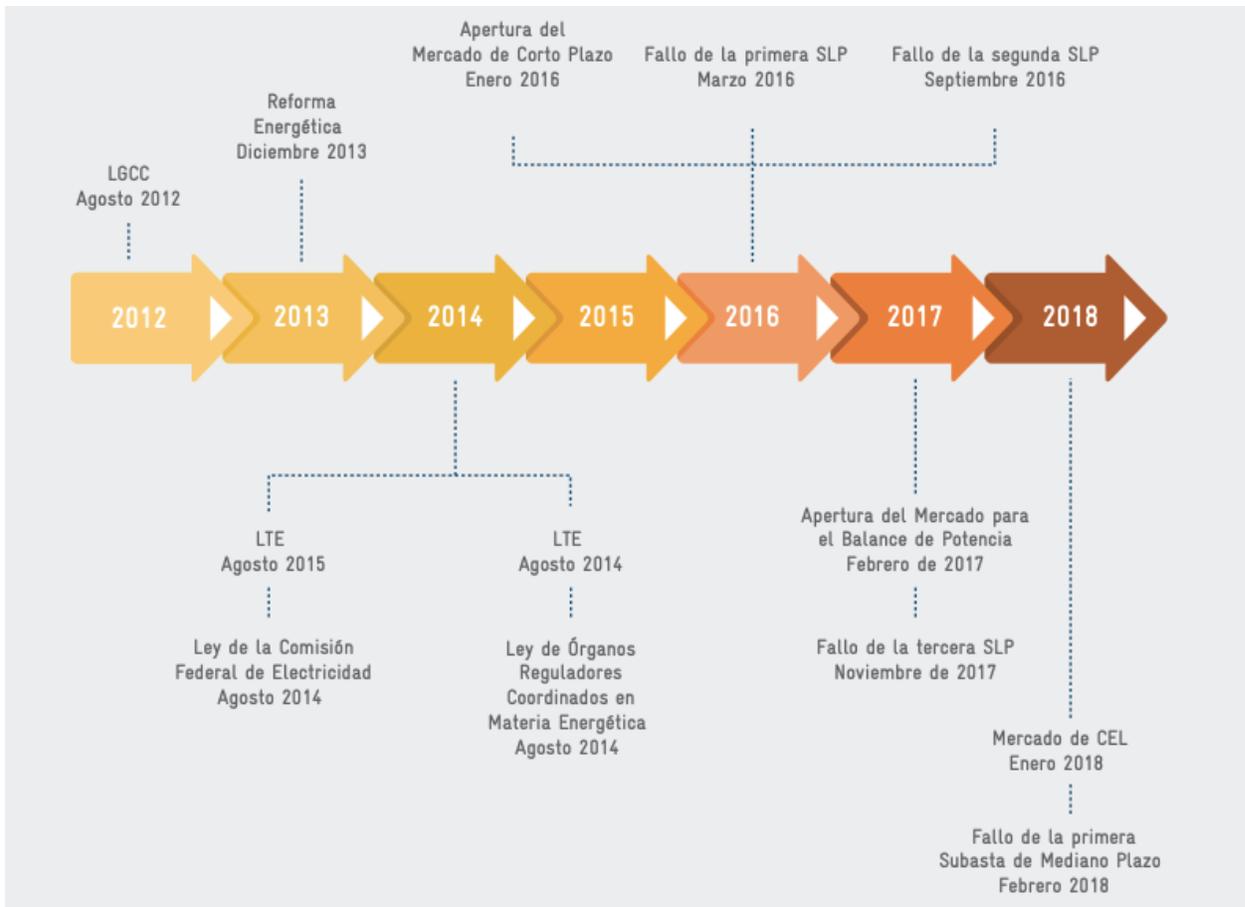


Figura 2.2 Evolución de la regulación en materia de energía en México

Fuente: Tomada de gíz (2018)

- Leyes y reglamentos relacionados con el sector energético

La LTE y la LIE establecen las metas, estrategias y líneas de acción para la generación de electricidad a partir de energías limpias, en particular, energías renovables.

- Estrategia de transición para promover el uso de tecnologías y combustibles más limpios

Es un instrumento de planeación de política pública aplicable a las energías limpias y eficiencia energética en los cuales se considera una planeación a mediano (15 años) y largo plazo (30 años). Actualmente la estrategia establece como metas de generación a partir de energías limpias, las cuales son las siguientes: 37.5% para 2030, y 50% para 2050. Del mismo modo, considerando que la contribución por tecnología a la meta de generación a partir de energías limpias en 2030 estará integrada por: energías renovables 68.1% (fotovoltaica: 12,697 GW/hora), nucleoelectrica 21.7%, cogeneración eficiente 10.1% y bioenergía 0.1%. adicionalmente dicha estrategia está definida por 6 ejes rectores: Tecnología, regulaciones y política pública, instituciones, capacidades técnicas, mercados y financiamientos, investigación y desarrollo. A partir de estos ejes se plantearon recomendaciones para nueve temas en general, entre ellos se encuentra la energía solar.

PROGRAMA ESPECIAL DE LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA (PETE) 2017-2018

Fomenta las acciones establecidas en la Estrategia, en donde se presta especial atención a la extensión de la Red Nacional de Transmisión (RNT) hacia las zonas que cuentan con un alto potencial de energías limpias con el fin de permitir una penetración mayor de las mismas. El PETE es anual y sirve de base para integración de proyectos en el presupuesto anual del Gobierno Federal, sin embargo, su alcance es hasta el final de la administración actual.

BASES DEL MERCADO ELÉCTRICO

Son las disposiciones administrativas de carácter general que contienen los principios de diseño y operación del MEM, incluyendo las subastas del mercado eléctrico.

El Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) es operador por el Centro Nacional de Control de Energía (CENACE) y se rige por las Bases y por las Disposiciones Operativas del Mercado, que en su conjunto integran las Reglas del Mercado. El MEM es el lugar en el cual los Generadores, Comercializadores, Suministradores,

Comercializador no Suministrador o Usuario Calificados participantes del mercado, que tengan un contrato celebrado con el CENACE, pueden realizar transacciones de compraventa de energía eléctrica, Servicios Conexos, Potencia, Derechos Financieros de Transmisión (DFT), los Certificados de Energías Limpias (CEL) y los demás productos que se requieren para el funcionamiento del Sistema Eléctrico Nacional (SEN). Las Reglas de este Mercado establecen los requisitos mínimos para ser Participante del Mercado, los derechos y obligaciones de los Participantes del Mercado, define la manera en que deberán coordinarse las actividades de los Transportistas y Distribuidores para la operación del mercado Eléctrico Mayorista (MEM), y establece los mecanismos para la solución de controversias. (gíz, 2018). Como parte de las disposiciones operativas del MEM existe tanto manuales, lineamientos, avisos, criterios como disposiciones administrativas que establecen los principios de operación y funcionamiento del Mercado del Día en Adelanto (MDA) y del Mercado de Tiempo Real (MRT) los cuales son los siguientes:

- Manual de mercado de energía de corto plazo.
- Manual de SLP y manual de subastas de mediano plazo (SMP).
- Manual de transacciones bilaterales y registro de contratos de cobertura eléctrica.
- Lineamientos que establecen los criterios para el otorgamiento de cel y los requisitos para su adquisición.
- Aviso por el que se da a conocer los requisitos para la adquisición de CEL en 2020, 2021 y 2022.
- Disposiciones administrativas de carácter general, los modelos de contrato, la metodología de cálculo de contraprestación y las especificaciones técnicas generales, aplicables a las centrales eléctricas de GD y generación limpia distribuida.
- Criterios mediante los que se establecen las características específicas de la infraestructura requerida para la interconexión de centrales eléctricas y conexión de centros de carga.

LEY GENERAL DE CAMBIO CLIMÁTICO

La generación de energía eléctrica a partir de energías renovables se alinea a la Ley General de Cambio Climático (LGCC), la cual fomenta el uso de energías renovables como medida de mitigación al cambio climático de acuerdo a las metas de que en el año 2020 hubiera una reducción un 30% de acuerdo a las emisiones que se tenía en el año 2000; así como un 50% de reducción de emisiones para el 2050 según el diario oficial de la federación del 2015 acerca de la Ley de Transición Energética (LTE).

El Programa Especial de Cambio Climático (PECC), derivado de la Ley General de Cambio Climático, define los objetivos sexenales y acciones específicas de mitigación y adaptación, donde señala las entidades responsables y metas. En el PECC 2014-2018 se enlistan los objetivos que se muestran en la tabla 2.3.

Tabla 2.3 Objetivos del Programa Especial de Cambio Climático (PECC)

10 AÑOS	<ul style="list-style-type: none">• Tecnologías limpias integradas al desarrollo productivo nacional.• Esquemas socioeconómicos que incentivan el uso de energías limpias.• Sistema de incentivos que promueva las mayores ventajas del uso de combustibles no fósiles, la eficiencia energética, el ahorro de energía y el transporte público sustentable con relación al uso de los combustibles fósiles.
20 AÑOS	<ul style="list-style-type: none">• Alcanzar el 35% de la generación eléctrica proveniente de fuentes limpias.• Al menos 40% de la generación de energía eléctrica proviene de fuentes limpias.• La generación de electricidad mediante fuentes limpias crea empleos, incluyendo en sectores vulnerables.• Los sectores residencial, turístico e industrial utilizan fuentes diversas de energía limpia, esquemas de eficiencia energética y ahorro de energía.
40 AÑOS	<ul style="list-style-type: none">• La generación de energía limpia soporta el desarrollo económico de todos los sectores productivos de forma equitativa y sustentable.• Al menos el 50% de la generación de energía eléctrica proviene de fuentes limpias.

Fuente: Elaboración Propia con base en el PECC 2014-2018

En virtud de los acuerdos internacionales en materia de cambio climático, México se ha comprometido con el INDC (Intended Nationally Determined Contribution) a incorporar medidas de mitigación y adaptación, las cuales tendrán implicaciones en el sector eléctrico.

De acuerdo al componente de mitigación de la INDC, México contempla dos tipos de medidas:

- las no condicionadas, que se refieren a aquellas que el país puede solventar con sus propios recursos.
- Las medidas condicionadas, que requieren del establecimiento de un nuevo régimen internacional de cambio climático en donde México pudiera obtener recursos adicionales y lograr mecanismos efectivos de transferencia de tecnología (Gobierno de la República-México, 2015).

México ha asumido el compromiso internacional no condicionado de alcanzar la reducción del 22% de sus emisiones de generación de efecto Invernadero (GEI) para el año 2030, lo que implica una reducción de alrededor de 210 megatoneladas (Mt) de generación de efecto Invernadero (GEI).

Dentro de estos compromisos, se señaló que los sectores energético e industrial se tiene la intención de:

- Generar el 35% de energía limpia en el 2024 y 43% en el 2030. La energía limpia incluye fuentes renovables, la cogeneración eficiente con gas natural y termoeléctrica con captura de CO₂;
- En la industria nacional hace la sustitución de los combustibles pesados por gas natural, por energías limpias y biomasa;
 - Reducir en un 25%, las fugas, venteo y quemas controladas de metano; y

- Controlar las partículas negras de hollín en equipos e instalaciones industriales (Gobierno de la República-México, 2015).

2.5 LA GESTIÓN DE LA GENERACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR

2.5.1 La gestión de la generación de la energía solar en México

Desde 1990 se cuenta en México con la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE), institución adscrita a la Secretaría de Energía (SENER), la cual se encarga de fomentar la creación, desarrollo y consolidación de fuentes renovables de energía. Por otra parte, existen instituciones, grupos e individuos que se dedican a promover y fomentar la energía generada a través de fuentes renovables, los cuales, en un número importante, se encuentran aglutinados a través de la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES); esta organización comparte información entre sus agremiados sobre los cambios, propuestas, tecnologías, fomento y desarrollo, así como investigación de impacto, por lo que se ha convertido en un referente nacional en este tema. En 1997 mediante un acuerdo entre la CONAE, como institución pública, y la ANES, como organización civil, crearon el Consejo Consultivo para el Fomento a las Energías Renovables (COFER), quien se encarga de coordinar los esfuerzos públicos y privados para fortalecer la organización entre todos los agentes relacionados con las energías renovables de la República (Rincón, 1999).

Le generación de energía renovable y su aprovechamiento mediante sistemas fotovoltaicos, de acuerdo con la ingeniería sostenible, se interesa por su aceptación dentro del mercado al utilizar elementos como la productividad, al referirse como un elemento estratégico para lograr la competitividad en la industria; así como a la rentabilidad como parte esencial en el desarrollo de ventajas competitivas. Por otro lado, se ha integrado a la oferta educativa programas de estudio sobre energías renovables, además de que instituciones como el CONACYT ha fomentado su desarrollo. Por ello, se realizó la adecuación al marco legal en apoyo a la generación y desarrollo de este tipo de energía (Martínez et al., 2021).

De acuerdo con la Asociación Europea de la Industria Fotovoltaica, América Latina se transformará en uno de los líderes en la producción de energía solar, donde mencionan que el potencial radica en Chile, Brasil y México. En 2013, México tenía reportado proyectos de aproximadamente 129 MW. El Parque Aura Solar 1, considerado como la central de producción de energía fotovoltaica más grande, en ese momento, con capacidad de 82 GWh/año. El Parque Solar Fotovoltaico “Bicentenario” primera central de producción de este tipo de energía en la región, con capacidad para generar 2 MW. El Parque Fotovoltaico de Apaseo el Grande con una capacidad de producción de 1 MW (Martínez et al., 2016).

En México, la industria solar fotovoltaica está dividida en: a) mercado mayorista, con organismos públicos y privados que producen a gran escala, junto a importantes productores en el ámbito internacional, y b) la generación distribuida, con la que se pretende fomentar el desarrollo económico regional, con énfasis en el cuidado al medio ambiente. Por ello, estos segmentos se tratan con estrategias diferenciadas, que permitan el desarrollo de capacidades nacionales y locales, en donde el fomento queda en manos del gobierno y de organizaciones privadas o de ciudadanos. Es por esto que se requiere de la creación, desarrollo y mejoramiento de políticas públicas, el conocimiento tecnológico y las capacidades técnicas de los especialistas en la materia. Por lo anterior, es necesaria la elaboración de un mapa del sistema de producción de energía fotovoltaica que contenga todos los segmentos de la cadena de valor, que contenga a las empresas que suministren los insumos requeridos para la generación de energía, y con ello impulsar la competitividad de la industria nacional. Se tienen deficiencias en los servicios de manufactura de equipos y componentes, desarrollo y construcción, mantenimiento, repuestos, reparación, entre otros. Se requiere de la adopción y adaptación de tecnología, así como de su desarrollo. La especialización de la mano de obra y la generación del conocimiento se deben considerar como de importancia estratégica para el desarrollo nacional (Rodríguez et al., 2017).

La Reforma Energética mexicana, permitió el acceso a importantes fuentes de recursos económicos, nacionales y extranjeros, debido a la posibilidad de realizar inversiones en un medio atractivo, mejor que las posibilidades dadas por otros países emergentes. En la parte que corresponde a la generación de energías limpias, el fomento por parte del Estado a este tipo de producción, ha permitido el fortalecimiento del mercado, con el apoyo normativo como la Ley de Transición Energética y la información sobre la planificación del sector. El impulso a las energías limpias busca la producción de este tipo de energía mediante medios alternos de generación, además de invertir en el sector para mejorar la eficiencia tecnológica. en el sector eléctrico Las metas para generación de electricidad a través de energías limpias, buscan detonar el desarrollo de métodos alternos de generación, así como inversión en tecnología que mejore la eficiencia del sector. Las fortalezas del mercado energético nacional, están dadas por (Jensen, 2018):

- Una política energética claramente definida
- Los elementos reguladores fortalecidos institucionalmente
- Una demanda energética en crecimiento
- La utilización de energías limpias para la generación de electricidad
- Un suministro eléctrico con tarifas básicas
- Una energía renovable con precios competitivos

2.5.2 La gestión de la generación de la energía solar fuera de México

La transformación energética impulsada por la Agencia Internacional de Energías Renovables se enfoca, principalmente, en dos líneas de desarrollo energético: a) continuar con la línea de acción de acuerdo con las consideraciones políticas actuales y las que se tienen previstas; y b) adoptar una línea de acción más agresiva, pero también más limpia y resiliente al cambio climático, con medidas viables tanto en la parte de la energía renovable como de la eficiencia energética.

A pesar del grave impacto de la pandemia registrada a partir de finales de 2019 y que se expandió en 2020, se pudo incrementar ese año la generación de electricidad en 138.2 GW por medio de energía solar, incrementándose en un 18%

en comparación con el año anterior. Con ello, la capacidad solar acumulada en el planeta es de a 773.2 GW, un aumento del 22 %, lo que marca un nuevo logro para el sector de la energía fotovoltaica al superar las tres cuartas partes de un teravatio. Tan pronto como se regrese a las actividades post pandemia comenzará la reordenación de los mercados solares con la respectiva mejoría de precios, sobre todo en productos que contienen silicio, por lo que en el periodo 2021 a 2025 se vaticinan como sólidos en materia de energía solar. La perspectiva de un escenario medio muestra un aumento del 25%, 203 GW en 2022, en donde las centrales generadoras de energía fotovoltaica superarán los 200 GW, que en un anterior estudio se esperaba hasta 2024. Si se continua con el aumento en la capacidad instalada con un promedio de 266 GW, para 2025 la cartera operativa de generación de energía eléctrica por medio solar alcanzará los 1.9 TW, con un escenario optimista que supere los 2 TW en este periodo de 4 años (SPE, 2020).

En el año 2020 el costo asociado a la generación de electricidad por medio del sol mejoró por sobre la utilización de fuentes convencionales, debido al incremento del costo del gas, el carbón y la energía nuclear. El costo de la generación de energía fotovoltaica mantuvo precios competitivos para todos los segmentos con centrales de energía solar a gran escala, superando a los combustibles fósiles en todos los proyectos con inversión sin subsidio, lo que se aplica también a la energía solar de almacenamiento que se emplea para la demanda máxima en comparación con los picos de utilización de gas. Las licitaciones a nivel mundial en 2020 permitieron el incremento de la utilización de energía solar, donde las propuestas superaron el mínimo histórico del año 2019. Este crecimiento permitió el dominio de la generación de electricidad a través de energía fotovoltaica sobre las otras tecnologías instaladas, logrando una participación global del 39%, es decir más de un tercio de la producción de centrales eléctricas instaladas provino de la energía solar. La fortaleza de China permitió un incremento a 48.2 GW, representando un 60% adicional, lo que ayudo a compensar las pérdidas de la India en 2020, y con ello se elevó la demanda de energía fotovoltaica en la región Asia – Pacífico, con una participación global del 62%. En EE.UU. tuvieron un incremento mayor al 19%,

siendo muy bueno para la industria de producción de energía eléctrica solar, pero Europa tuvo un crecimiento más lento que el promedio mundial, reduciéndose a 17 %. En el mercado mundial se ha incrementado la generación de energía fotovoltaica de forma marginal (SPE, 2020).

Una de las formas destacadas en la gestión y producción de energía fotovoltaica es a través de la autoproducción y autoconsumo, visto como una gran oportunidad de mejora a los sistemas de generación de energía actuales. Esto se ha transformado en una oportunidad para que las personas, en forma individual u organizados, incluidas las empresas, cambien el tipo de consumo de energía, de tradicional a renovable, a través de instrumentos que contemplen políticas para la gestión de la producción y demanda, con una mayor participación democrática y social, mediante el impulso, de forma paralela, a sistemas que permitan el almacenamiento de la energía, con lo que se está dando acceso a elementos dinámicos como principales componentes de la transición energética.

La normatividad que atiende la generación y consumo de energías renovables, entre ellas la fotovoltaica, tiene una diferenciación compleja entre los miembros de la Unión Europea, ya que se presentan contextos diversos, por lo que su utilización y empleo para ser agentes en la transformación energética se ha visto opacada y, en algunos casos, frenada, en donde se ha complicado su incentivación debido al complejo marco legal que se presenta, en donde los apoyos y subsidios se han condicionado o desaparecido, además de dar paso a un sistema de administración que impide su avance.

El no contar con un marco regulatorio común en la Unión Europea (UE) está causando conflictos entre su población. Existen propuestas como el denominado Energía Limpia, en el que se reconoce como un nuevo derecho la autogeneración y el autoconsumo de energía eléctrica, con lo que se abre paso a la creación de un marco legal vinculante que permita la gestión de la energía eléctrica. Entre los elementos destacables se encuentran: a) la venta de energía autoproducida, b) el

autoconsumo compartido y c) la simplificación de trámites por cada uno de los Estados miembros.

Este desarrollo de un marco común en la UE permitiría el desarrollo pleno del potencial para la generación y consumo de energía renovable, en donde se advierte que hasta un 83% de los hogares podrían autogestionar su energía eléctrica, lo que no podrá ocurrir mientras se continúe con políticas de represión hacia estos sistemas.

La energía fotovoltaica es la autogenerada de mayor uso en la UE, además de seguir contando con el mayor potencial para su desarrollo. En 2015 casi el 25% de la capacidad instalada en la UE se instaló en zonas residenciales (casas individuales o multifamiliares), lo que representó 2,415 MW. Países como Alemania, Bélgica, Dinamarca, Holanda e Italia son los que más han impulsado la energía fotovoltaica autogestionada.

Es importante indicar que, si bien es cierto que la energía fotovoltaica es la que tiene el mayor impulso en la autogestión, existen otras fuentes que generan energía para autoabastecimiento, como el tipo eólico, biogás o por biomasa.

Los problemas para la autogestión son diferentes en cada uno de los países miembros de la UE, entre ellos se pueden mencionar: a) el conocimiento en la materia; b) el acceso a recursos financieros, y c) la incertidumbre legal. En algunos Estados, la autogestión se ha convertido en un verdadero caos e incertidumbre para los productores, debido a diversas razones, entre las que cuentan: i) el cumplimiento o el proceso de cumplirlo, de las metas indicadas sobre potencia solar agregada o desarrollo de autogestión, ii) la disminución del costo de generación, por lo que las ayudas o subsidios han decrecido, o iii) medidas de austeridad o decremento del déficit en el sistema tarifario. Alemania, Bélgica, Grecia, Portugal y Reino Unido son algunos de los países en los que las políticas de retribución a la autogeneración han cambiado.

2.6 LA CADENA DE SUMINISTRO Y SU IMPORTANCIA EN LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

2.6.1 Definición de cadena de suministro

La cadena de suministro es una herramienta que permite la alineación de proveedor- procesos-cliente, que cada vez es más entendida y aplicada por las organizaciones, la cual sustenta su funcionamiento y competitividad en el nivel de las capacidades de sus eslabones, procesos y la sinergia que produce su interrelación (Montaño et al., 2012).

MacCormarck et al., (2008) sugieren que a través del concepto de Orientación de los Procesos del Negocio las empresas que colaboran en la cadena de suministro pueden aumentar su rendimiento global, partiendo de una visión estratégica alineada de sus procesos.

Prahalad and Ramaswamy (2004) enuncian que la motivación para la colaboración en las cadenas de suministro es mejorar el rendimiento interno y externo, donde la competencia obliga a crear relaciones firmes entre sus socios en todas las direcciones.

Whitman et al. (2001), mencionan que una cadena de suministro son una sociedad de negocios autónomos, que colaboran con esfuerzos colectivos para la solución de problemas comunes en la optimización de operaciones, con la finalidad de alcanzar el progreso de cada uno de los eslabones. Una representación típica de la cadena de suministro se muestra en la figura 2.4.



Fig. 2.4 Representación típica de una cadena de suministro

Fuente: Keskinocak y Tayur, 2001

En la actualidad, las empresas con mejor desempeño competitivo son las que tienen mejor integrados sus procesos internos con sus proveedores externos y clientes, formando cadenas de suministro con propósitos y procedimientos bien definidos y consistentes (Simatupang y Sridharan, 2004). Al desarrollar una cadena de suministro hay que entender los procesos y su evaluación. El-Emam (2001) define la evaluación de un proceso como el examen disciplinado de acuerdo a un conjunto de criterios y medidas de referencia, para determinar la capacidad para ser realizados dentro de los objetivos de calidad, costo y planificación, donde el propósito es caracterizar la práctica actual y la habilidad para controlar o evitar las causas de baja calidad, que pueden propiciar desviaciones en planes, costos y tiempos de respuesta.

Díaz (2007), menciona que incrementar la eficiencia de los procesos es la siguiente frontera para mejorar la calidad y agilizar las operaciones, proponen eliminar las barreras entre los procesos de la empresa eje y las empresas participantes, para simplificar las actividades, hacerlas más eficientes y eliminar las tareas duplicadas.

Para poder integrar una cadena de suministro se debe asumir un enfoque sistémico, donde es primordial acotar el sistema y distinguir las relaciones que integran el flujo de cada uno de los procesos, sin perder de vista que se compite con otros sistemas. De acuerdo a Porter (2002), las empresas conviven en un mundo globalizado y de

alta competitividad, donde existen fuerzas que rivalizan en los diferentes sectores en el cual día a día hay que estar revisando el mercado y las estrategias, sin olvidar que las organizaciones cada vez están más conscientes de la administración del conocimiento como un factor clave para mejorar su eficiencia y competitividad (Grundstein, 2008).

Capó, Tomás y Exposito (2007) estudiaron los principales modelos y estructuras organizativas existentes, así como los más habituales en las cadenas de suministro, llegando a la conclusión de que la cadena de suministro debe configurarse como una red dinámica, en la que se eliminen las barreras a la creación, transmisión y difusión del conocimiento entre sus miembros.

Pires y Carretero (2007) mencionan que la Gestión de la Cadena de Suministro es un área multifuncional, consideran que su ámbito de actuación se basa en tres ejes:

1. Los procesos de negocio.
2. La tecnología, iniciativas, prácticas y sistemas.
3. La organización y el personal.

El problema se da cuando no avanzan a la misma velocidad; lo cual detiene el avance de los objetivos, que significa no cumplir con lo estipulado, otro punto es la medición del desempeño de forma integrada, lo cual es difícil de realizar si no se conocen y controlan los subsistemas que interactúan.

Simatupang y Sridharan (2004), mencionan que las empresas con mejor desempeño competitivo tienden a ser las que mejor integran sus procesos internos con proveedores y clientes, formando cadenas de suministro con propósitos y procedimientos bien definidos y consistentes

Horvath (2001) describe que la motivación para la colaboración en la cadena de suministro es la mejora del rendimiento interno y externo, pero también la intensa competencia obliga a crear relaciones estrechas con sus socios en todas direcciones.

Correa y Gómez (2009), mencionan que la aplicación de las tecnologías de la información en la gestión de la cadena de suministro contribuye a la sincronización de los procesos, donde los obstáculos para su implementación es la confianza en los procesos.

Poluha, 2007 menciona que las empresas han comprendido que tener una buena estrategia no es suficiente; es necesario diseñar modelos que simplifiquen la complejidad a partir una cadena de suministro y que den cuenta de la estrategia y sus procesos, como el Modelo SCOR, el cual puede describir cualquier cadena de suministro en toda su amplitud sea simple o compleja.

Otro factor importante que deben tomar en cuenta las empresas que participan en una cadena de suministro es la logística, que consiste en minimizar costes, mejorar los niveles de servicio y acortar el tiempo de respuesta. La mayoría de las empresas conviven en un entorno competitivo condicionado por la globalización, integración y centralización, por lo que la facilidad de acceso a nuevos mercados obliga a rediseñar las redes de distribución, localizar las capacidades productivas y a definir un modelo global de gestión de compras, por lo que la presión competitiva y los clientes son cada vez más exigentes respecto a la propuesta de valor que les ofrece la empresa, lo anterior hace que los datos del mercado sean cada vez más esenciales para dirigir e integrar las cadenas de suministro. Son muy pocas las empresas que saben con exactitud cuáles son sus costos logísticos, ya sea porque tienen una parte contabilizada dentro del coste de las compras o porque tienen los costes externalizados, que podemos resumir en almacenaje, transporte, financiación de inventarios y gestión logística; donde la posición óptima es la optimización servicio-coste con el fin de evitar sobrecostes.

México puede mejorar e incrementar su competitividad a nivel mundial en la cadena de suministro de la energía solar fotovoltaica, porque cuenta con mejores prácticas en otros sectores industriales, que se pueden traducir en ventajas como mano de obra calificada, posición geográfica, costos competitivos, amplia red de proveeduría, estándares de calidad y acceso preferencial a otros mercados, gracias a los tratados de comercio que tiene con países del norte y por los decretos

nacionales que de igual forma le han permitido generar un mayor crecimiento a nivel interno.

2.6.2 Cadena de suministro de la energía solar fotovoltaica en los países referentes

Como se vio en el punto anterior, una cadena de suministro consta de dos o más organizaciones legalmente separadas que están conectadas por flujos de materiales, de información y financieros, con la finalidad de cumplir objetivos comunes, cubrir deficiencias y ser más competitivos.

- Influencia de China en la cadena de suministro de la energía solar fotovoltaica a nivel mundial

En estos tiempos económicos desafiantes, desarrolladores de políticas y gerentes han presentado el sector de las energías limpias, especialmente la solar fotovoltaica, como un faro para un futuro más próspero (Haley and Schuler, 2011). La producción de energía solar fotovoltaica utiliza más mano de obra/megavatios instalados que otras tecnologías de energía limpia, los hacedores de políticas y gerentes han argumentado que los beneficios son un mayor empleo e influencia global para los países que fabrican componentes y desarrollar la tecnología. Hay evidencia que apoya esta visión optimista de la industria de la energía solar fotovoltaica, incluida el gran crecimiento de la capacidad instalada durante la última década (figura 2.4 y 2.5), que va de la mano con el número de empresas que ocupan diversas partes de la cadena de suministro, y nuevas tecnologías que han mejorado la eficiencia, precio-rendimiento y atractivo para el usuario de muchos componentes de energía solar fotovoltaica. Sin embargo, pocos han analizado los efectos de diversas políticas gubernamentales -sobre las estrategias de las empresas en esta industria.

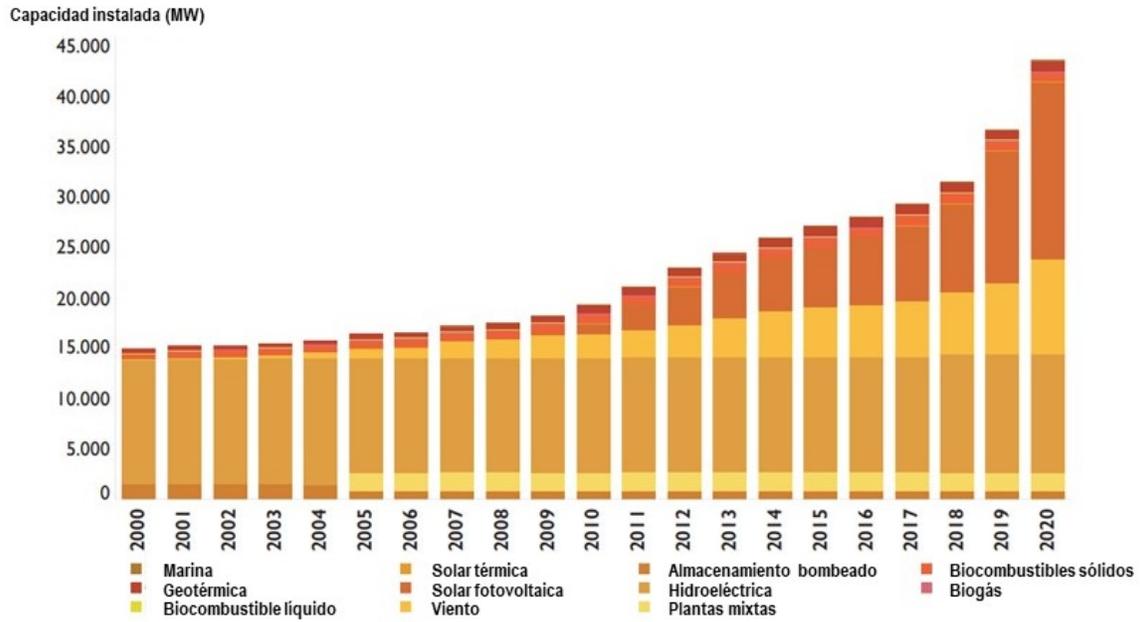


Figura 2. 4 Potencial mundial instalada renovable 2010-2020

Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2021).

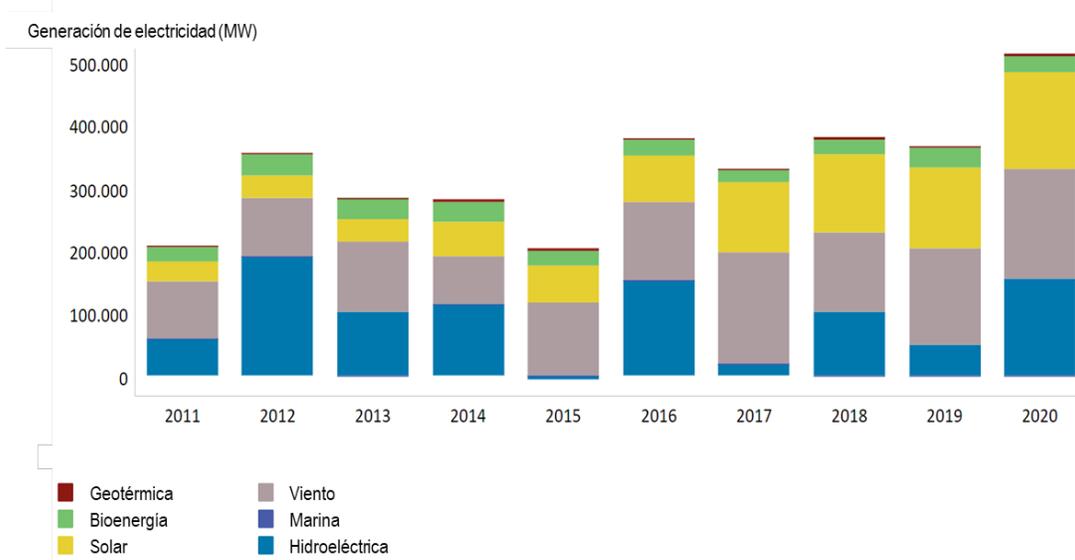


Figura 2.5 Generación de energías renovables a nivel mundial 2010-2020

Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2021).

La capacidad mundial de fabricación de energía solar fotovoltaica se ha trasladado cada vez más desde Europa, Japón y Estados Unidos a China en la última década.

China ha invertido más de 50,000 millones de USD en nueva capacidad de suministro fotovoltaico, diez veces más que Europa, y ha creado cerca de 300,000 puestos de trabajo en toda la cadena de valor de la energía solar fotovoltaica desde 2011. Actualmente, la participación de China en todas las etapas de fabricación de paneles solares (polisilicio, lingotes, obleas, células y módulos) supera el 80 %, además, el país alberga los 10 principales proveedores del mundo de equipos de fabricación de energía solar fotovoltaica. China ha sido fundamental para reducir los costos de la energía solar fotovoltaica en todo el mundo, con múltiples beneficios para transiciones de energía limpia. Al mismo tiempo, la ubicación geográfica y la concentración en las cadenas de suministro globales, crea desafíos potenciales que los gobiernos deben abordar.

Las políticas gubernamentales en China han dado forma a la oferta, demanda y precio de la energía solar fotovoltaica en la última década. Las políticas industriales chinas, que son centradas en la energía solar fotovoltaica como sector estratégico y la creciente demanda interna han permitido economías de escala y apoyó a la innovación continua en toda la cadena de suministro. Estas políticas han contribuido a una reducción de costos de más del 80%, ayudando a la energía solar fotovoltaica a convertirse en la tecnología de generación de electricidad más asequible en muchas partes del mundo, sin embargo, también han dado lugar a desequilibrios entre la oferta y la demanda. La capacidad global para la fabricación de obleas y células, que son elementos clave de energía solar fotovoltaica, y el ensamble de paneles solares (también conocidos como módulos), superó la demanda en al menos un 100% a fines de 2021. Por el contrario, la producción de polisilicio, el material clave para la energía solar fotovoltaica, es actualmente un cuello de botella en la cadena de suministro con, lo que ha llevado a una escasez de suministros mundiales y a una cuadruplicación de los precios del polisilicio en el último año (International Energy Agency, 2022).

De acuerdo a las proyecciones de la International Energy Agency (2022), el mundo dependerá casi por completo de China para el suministro de bloques de construcción clave para la producción de paneles solares hasta 2025. Basado en la

fabricación y capacidad en construcción, la participación de China en componente como el polisilicio, lingotes y obleas a nivel mundial, pronto alcanzará casi el 95% en producción, además, se tiene que uno de cada siete paneles producido en todo el mundo es fabricado por una sola instalación. Este nivel de concentración en cualquier cadena de suministro global representaría una vulnerabilidad considerable; donde la energía solar fotovoltaica no es la excepción.

- Cadena de suministro de la energía solar fotovoltaica en Alemania

En Alemania, el fuerte desarrollo fotovoltaico se dio a consecuencia de una ley del gobierno para fomentar la energía verde, el gobierno paga tres veces más al generador, por ello el usuario percibe como una inversión el instalar módulos fotovoltaicos en el techo de su casa y generar energía para su consumo y en exceso, la cual transfiere a la compañía eléctrica estatal, recibiendo créditos por la energía generada y no consumida (López, Alcalá y Moreno, 2012).

Alemania quiere duplicar la velocidad de producción de obleas de silicio para paneles fotovoltaicos europeos, Las obleas de silicio son el componente clave de los paneles solares. El Fraunhofer ISE está encontrando formas de fabricarlas más rápido y más barato. Un consorcio de empresas, expertos e investigadores bajo la dirección del Fraunhofer ISE ha creado una línea de producción experimental capaz de producir entre 15 y 20 mil obleas por hora. La producción de células solares se ha acelerado, con el objetivo de reconstruir la cadena de suministro fotovoltaica europea y estar a la altura del «made in China», un grupo de expertos y científicos lleva tiempo estudiando nuevas soluciones para facilitar la aparición de fábricas de paneles y células solares de alta eficiencia también en Europa.

Alemania mantiene su indiscutible liderazgo como la primera potencia solar de Europa: ha añadido 5.015 megavatios de nueva potencia a su parque nacional de generación solar (4,8 gigas en 2020) y alcanza ya los 58,7 gigavatios de potencia acumulada. Toda esa potencia generó en 2021 unos cincuenta teravatios hora de electricidad. La cuota de electricidad solar autoconsumida ha sido del 10,9%, según EurObserv'ER, que cita como fuente de todos esos datos a AGEE-Stat, organismo

independiente establecido en 2004 por el Gobierno alemán y encargado del seguimiento estadístico de todas estas magnitudes (incluye expertos de varios ministerios de la administración alemana y de varios centros de investigación).

a elevada dependencia alemana del gas ruso (o más bien la guerra) parece haber convencido al Gobierno socialista de Olaf Scholz de que conviene acelerar la transición energética hacia un modelo 100% renovable. Y así el Bundestag -señala en ese sentido EurObserv'ER- anunció el pasado 8 de abril que elevará su objetivo renovable para el mix eléctrico 2030 desde el 65% comprometido previamente hasta el 80, y adelanta el 100% renovable al año 2035. El nuevo compromiso entrará en vigor oficialmente el 1 de julio.

La nueva norma incluye además una cláusula que identifica a las energías renovables como de interés público por motivos de seguridad. EurObserv'ER recoge una frase del ministro alemán de Asuntos Económicos y Acción Climática, Robert Habeck, que pone en contexto esa norma. "es la mayor revisión de la política energética en décadas".

La revolución solar alemana se dispara. Y si en 2022 van a ser subastados seis gigavatios de potencia FV (6 GW), ya se prevén subastas anuales de hasta 22 gigas "a partir de 2026 y hasta al menos 2035" (veintidós gigas, 22 GW, por año). Esa velocidad de crucero conducirá al parque solar fotovoltaico alemán hasta los 215 GW en 2030.

La administración alemana además ha querido blindar ese proceso y ha reconocido a las energías renovables como de interés público hasta que se alcance la neutralidad climática, lo cual implica facilidades en los procedimientos de tramitación. El Gobierno alemán también ha establecido medidas de apoyo para impulsar los proyectos solares ciudadanos (facilidades de carácter administrativo), y otras (medidas de carácter económico) para fomentar los tejados solares y la agrovoltaica.

- Cadena de suministro de la energía solar fotovoltaica en Estados Unidos

Todas las fuentes de energía dependen de las cadenas de suministro, aunque cada una tiene diferentes amenazas, riesgos, vulnerabilidades y oportunidades. Los riesgos y vulnerabilidades de la cadena de suministro del sector energético basado en combustibles fósiles han tenido con frecuencia un efecto dominó en toda la economía mundial (Sharfedin et al., 2021). Una de las principales vulnerabilidades que se vislumbran es que pocos países controlen una parte significativa de los recursos y utilicen su poder de mercado para influir en los precios mundiales (Reed, 2021). Si bien algunos de los riesgos y vulnerabilidades asociados con los combustibles fósiles pueden disminuir, a medida que la economía global hace la transición a la energía limpia, el cambio global hacia la energía limpia está introduciendo nuevos conjuntos de riesgos, vulnerabilidades y oportunidades en la cadena de suministro de toda la base industrial del sector energético.

En la economía basada en combustibles fósiles, el principal problema de la cadena de suministro se centra en el acceso a los combustibles; en la economía de energía limpia, el principal problema de la cadena de suministro se centra en el acceso a los materiales y componentes necesarios para fabricar tecnologías de energía limpia y componentes cada vez más digitalizados. Esta revisión de la cadena de suministro identificó una variedad de riesgos y vulnerabilidades que varían según la tecnología y requerirán un amplio conjunto de diversas acciones políticas. Además, el DOE (U.S. Department of Energy, 2022) identificó amenazas, riesgos y vulnerabilidades comunes en todas las tecnologías seleccionadas. Estos riesgos y vulnerabilidades comunes se agrupan en siete principales oportunidades de acción: 1) aumentar la disponibilidad de materia prima, 2) ampliar las capacidades de fabricación nacional, 3) apoyar la formación e invertir en cadenas de suministro extranjeras diversas, seguras y socialmente responsables, 4) aumentar la adopción y el despliegue de energía limpia, 5) mejorar la gestión de residuos relacionados con la energía al final de su vida útil, 6) atraer y apoyar una fuerza laboral capacitada para la transición de energía limpia, y 7) mejorar el conocimiento de la cadena de suministro y toma de

decisiones. Juntos, crean la "Estrategia para asegurar la transición de energía limpia" que el DOE trabaja con otras agencias federales para implementar.

Se prevé que la demanda mundial de energía solar fotovoltaica se dispare en los próximos años a medida que los países se apresuren a cumplir sus objetivos climáticos. Con la combinación correcta de políticas e incentivos específicos, la industria solar fotovoltaica podría responder rápidamente en casa y en todo el mundo para diversificar la cadena de suministro solar mundial y reducir la dependencia de China. El apoyo financiero significativo y los incentivos del gobierno de los EE. UU. podrían conducir al restablecimiento de un fuerte sector de fabricación solar nacional. Al desarrollar una estrategia para diversificar las cadenas de suministro de energía solar fotovoltaica global y aumentar la producción global, el gobierno de EE. UU. tiene la oportunidad de priorizar la utilización total de la capacidad existente de EE. UU., reorientar la producción nacional y ampliar las oportunidades en el extranjero con aliados y países socios. Estiman que se necesitan alrededor de \$ 8 mil millones de inversión en instalaciones de la cadena de suministro nacional para satisfacer una demanda nacional anticipada de 40 GWdc por año para 2030.¹⁰ Las estimaciones del DOE indican que, con incentivos de fabricación, la capacidad de producción solar nacional podría alcanzar los 10 GWdc en dos años, 15 GWdc dentro de tres años y satisfacer la demanda interna de 25 GWdc en cinco años.

- Cadena de suministro de la energía solar fotovoltaica en España

España se convirtió en un referente mundial en la cadena de suministro y producción de electricidad con energía solar fotovoltaica en la primera década de este siglo, actualmente vuelve a apostar por esta tecnología tanto para la generación en plantas de gran tamaño como para el autoconsumo, aunque se llegó a calificar dicho fenómeno de burbuja a causa de las políticas implantadas (Sevilla, Golf y Driha, 2013; Gómez, Dopazo, y Fueyo, 2016).

De acuerdo al informe de la Unión Española Fotovoltaica, España en el año 2019 fue el líder en el sector fotovoltaico en Europa y a nivel mundial ocupa la sexta

posición. Esto se debe a la capacidad instalada tanto en instalaciones de suelo como en autoconsumo, las plantas en suelo aportaron 4.201 MW de nueva capacidad, y el autoconsumo 459 MW. Esperan que las instalaciones solares fotovoltaicas registren un crecimiento interanual del 27% en 2021 en medio de una fuerte demanda, lo cual significa que se instalen 181 GW de nueva energía solar en todo el planeta a pesar del aumento de los precios de los módulos, los largos plazos de entrega y el aumento de los costos de transporte (TECPA, 2021).

- La cadena de suministro de la energía solar fotovoltaica en Colombia

Valderrama et al. (2018) comentan que en Colombia cobra importancia el concepto conciencia ambiental, que es un pilar fundamental en el mundo globalizado, donde la sostenibilidad de las organizaciones socioeconómicas en un nivel agregado depende fundamentalmente de tres dimensiones: la ambiental, la social y la económica, lo cual debe tomarse en cuenta en el diseño de las cadenas de suministro de la energía fotovoltaica, donde se deben reevaluar para repotenciar la forma de obtención de recursos económicos, teniendo la mínima incidencia en el medio ambiente.

El cambio de energía convencional a energía proveniente de fuentes renovables como la solar, es un tema que viene en aumento de forma exponencial. Este crecimiento se da gracias a la creación de normas a nivel local y global, además del desarrollo tecnológico y la disminución en los costes que han experimentado los sistemas de generación de energía. la cadena de suministro de este tipo de sistemas requiere de una sincronización en todas sus áreas y procesos, además del apoyo por parte del Estado, con la generación y creación de políticas gubernamentales para la expansión y el crecimiento de este tipo de generación de energía en Colombia.

- Cadena de suministro de la energía solar fotovoltaica en Indonesia

Indonesia es un país que se extiende a ambos lados de la línea ecuatorial y tiene un promedio de radiación solar de aproximadamente 4,8 kWh/m² por día.

Considerando esta condición geográfica, la energía solar puede ser un recurso energético alternativo prometedor; por lo tanto, la demanda de energía fotovoltaica podría aumentar en el futuro. Para satisfacer esta demanda, Indonesia necesita una fuerte cadena de suministro de energía fotovoltaica. Para conseguirlo, debe conocer el estado actual de la cadena de suministro fotovoltaica y caracterizarse a través del mapeo de la capacidad; que incluye a productores o proveedores de componentes fotovoltaicos y consumidores existentes. Posteriormente, identificar los cuellos de botella y formular la estrategia adecuada para mejorar la cadena de suministro (Sari and Maya, 2020).

A través del mapeo de la cadena de suministro, se vio que los proveedores de energía fotovoltaica de todos los niveles se encuentran principalmente en la parte occidental de Indonesia. Esta condición muestra que el gobierno debe intentar establecer proveedores de energía fotovoltaica cerca de los consumidores. Esto es particularmente importante ya que la energía solar está destinada a ser una fuente de energía en áreas aisladas y remotas. Proveedores fotovoltaicos relativamente cercanos, puede aumentar la accesibilidad de los clientes a los proveedores o servicios centros y reducir el costo de transporte.

- Perspectivas en el mundo

El factor fundamental para el crecimiento tan destacado de la energía solar fotovoltaica en el Planeta ha sido la reducción de los precios de los componentes básicos de una instalación. Hoy en día un panel solar fotovoltaico cuesta una décima parte de lo que valía en el año 2007, y algo parecido ha sucedido con los inversores fotovoltaicos, que han reducido a la mitad su precio durante ese periodo; es decir, se han producido importantes innovaciones en los procesos de la cadena de suministro que han disminuido los tiempos de ejecución y los costes (Asociación nacional de productores de energía Fotovoltaica, 2019). Por ello, la energía solar fotovoltaica se ha vuelto muy competitiva en los últimos años.

Un estudio de la Universidad George Washington (GWU) ha calculado que la cadena de suministro globalizada ahorró a los países 67,000 millones de dólares en

costes de producción de paneles solares. La investigación también encontró que si se implementan fuertes políticas nacionalistas que limitan el libre flujo de bienes, talento y capital en el futuro, los costes serán mucho más altos para 2030. El equipo de investigación analizó las capacidades instaladas históricamente, así como los datos de precios de venta y material de entrada para implementar módulos de paneles solares en los EE.UU., Alemania y China, los tres países con mayor implementación de energía solar, entre 2006 y 2020. La cadena de suministro ahorró a los países un total combinado de 67.000 millones de dólares: 24.000 millones en EE.UU., 7,000 millones en Alemania y 36,000 millones en China. Si cada uno de los tres países hubiera adoptado fuertes políticas comerciales nacionalistas que limitaran el aprendizaje transfronterizo durante el mismo período de tiempo, los precios de los paneles solares en 2020 habrían sido un 107% más altos en EE.UU., un 83% en Alemania y un 54% en China. Los investigadores también analizaron las implicaciones de políticas comerciales más proteccionistas en el futuro. Estiman que, si se implementan fuertes políticas nacionalistas, los precios de los paneles solares serán aproximadamente un 20-25% más altos en cada país para 2030, en comparación con un futuro con cadenas de suministro globalizadas.

CAPÍTULO 3

MARCO CONTEXTUAL

3.1 LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN MÉXICO

A lo largo de los años se ha escuchado que pronto se terminarán las reservas de hidrocarburos en el mundo, que ya no se debe seguir dependiendo de los combustibles fósiles, que existen diferentes formas de generar energía eléctrica más limpia. Como contraste tenemos lo siguiente, la producción de crudo en México bajó un 10% durante 2016, no obstante, en noviembre de 2017, se anunció el hallazgo de un yacimiento con reservas de probadas, probables y posibles (3P) que podría rondar en 350 millones de barriles de petróleo (Reuters Staff, 2017).

Por otra parte, en el año 2017 se inauguró un parque solar en Coahuila y una central de producción de energía undimotriz en Colima, con lo que se contribuyó a lograr la meta de producción de energías limpias de acuerdo a lo que se ha considerado para nuestro país como proyección para el año 2028. Entre 2010 y 2014 se contaba con 230 plantas generadoras de energía eléctrica por medio de energías renovables, donde destacaba el estado de Oaxaca como el mayor productor de energía eólica y el de Veracruz en energía por biomasa.

Las Energías Renovables de acuerdo con el artículo 3º, fracción XVI de la Ley de Transición Energética son: el viento, la radiación solar en todas sus formas, el movimiento del agua, la energía oceánica, el calor de los yacimientos geotérmicos y las bioenergéticas.

3.1.1 Energía Hidráulica

Es la más utilizada en México y en el mundo, pero el instalar una planta de este tipo requiere una inversión costosa y grandes extensiones de terreno. Por lo regular, los lugares donde se instalan estas plantas generadoras se localizan centros de consumo, lo que exige construir infraestructura. En nuestro país se cuenta con una capacidad instalada de 11,266 MW en 64 plantas hidroeléctricas, lo que representa el 23% del total de la capacidad instalada de CFE. El sistema hidroeléctrico más grande que cuenta México se ubica en el río Grijalva (SENER, 2017). En la figura 3.1 se muestran los lugares donde se tienen plantas hidroeléctricas.



Figura 3.1 Capacidad y generación en centrales hidroeléctricas 2017 (MW/GWh)

Fuente: SENER (2017)

3.1.2 Energía Eólica

La Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMDEE) es el organismo encargado de impulsar la producción de energía eólica en México. En cuestiones económicas, para la generación de energía eléctrica por medio de energía eólica, la inversión inicial es el gasto más fuerte, pero en contraste, las torres necesitan mantenimiento mínimo por muchos años. Además, por cada MW generado, se evita la emisión de 2,900 toneladas de bióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera. Por otra parte, en el 2019 se tenía previsto agregar al menos 1359 MW, lo que representaría un 27.5%

de incremento con respecto al 2018, los cuales estarían distribuidos en 13 estados y proporcionarían una capacidad total de 6.317 MW. Por consiguiente, se espera que la generación de energía eléctrica por medio de energía eólica, tenga un aumento de un 40% del total de la energía renovable generada en el país, de unos 12,000 MW entre el 2020 y 2024 (AMDEE 2019).

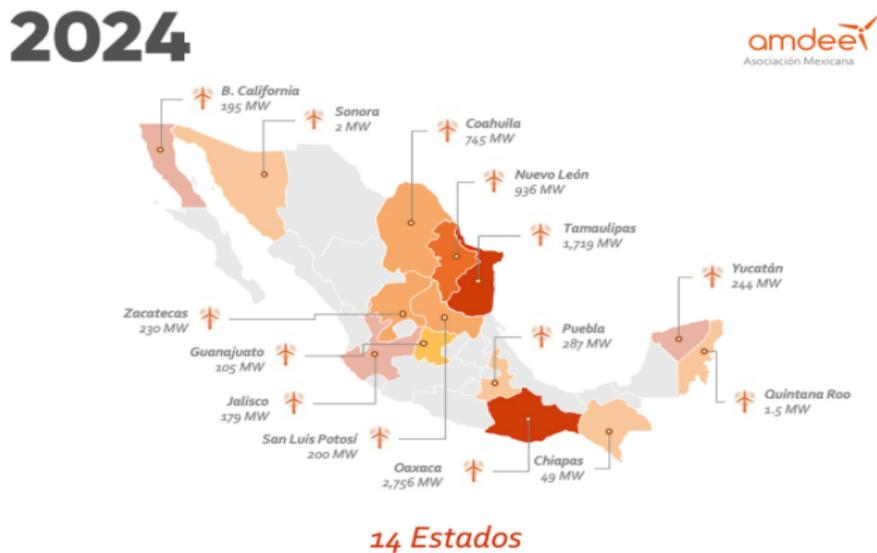


Figura 3.2 Capacidad prevista o proyectada en energía eólica

Fuente: AMDEE (2019)

3.1.3 Energía Geotérmica

México es el 4º país en producción de energía geotérmica a nivel mundial, con tan solo cuatro plantas en operación y con un potencial grande, se sabe que hay más de 100 solicitudes de proyectos de geotermia que deberán aprobarse o rechazarse antes del año 2027. Prácticamente en todo el país es posible encontrar fuentes de energía geotérmica, excepto la Península de Yucatán. Por ejemplo, en la actualidad, se tiene la planta de energía geotérmica en el campo de Cerro Prieto, Baja California, que tiene una capacidad instalada de 570 MW, y que se exporta a los Estados Unidos (Campos, 2018).



Figura 3.3 Capacidad y generación en centrales geotermoeléctricas en 2017

Fuente: SENER (2017)

3.1.4 Energía Solar

De acuerdo con IRENA (2015), la radiación solar promedio que se tiene en el país es de 5.5 KWh/m².

A partir de 2007, se descentralizó la producción de energía eléctrica en el país, dando como resultado que particulares y algunas empresas comenzaran a colocar paneles solares para sustituir y cubrir necesidades en el hogar y la industria, y los excedentes de la electricidad generada, se pudiera vender a la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

En nuestro país, el equipamiento que se requiere para su generación es deducible de impuestos, pero, los paneles solares de importación deben pagar el 15% de aranceles (SENER, 2019). La figura 3.4, 3.5 y 3.6 nos muestra el potencial, la capacidad y los 23 proyectos de energía solar fotovoltaica que se tienen configurados.



Figura 3.4 Capacidad y generación en centrales solares 2017

Fuente: SENER (2017)

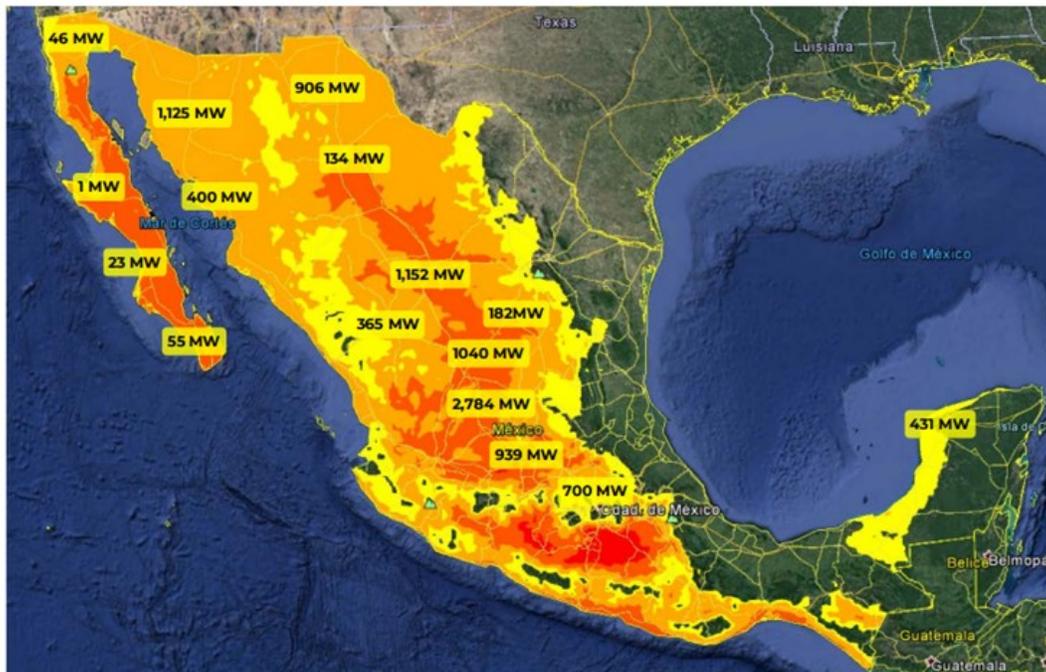


Figura 3.5 Zonas con alto potencial de generación solar

Fuente: CENACE (2018)



Figura 3.6 Proyectos de energía solar fotovoltaica

Fuente: SENER (2019)

3.1.5 Biomasa

En nuestro país, la capacidad instalada para generar energía por medio de la biomasa es de 1,007 MW y con generación de energía de 1,884 GWh. Veracruz es el estado que mayor capacidad tiene con 375 MW, seguido de Jalisco (88) y San Luis Potosí (81) (SENER, 2017).

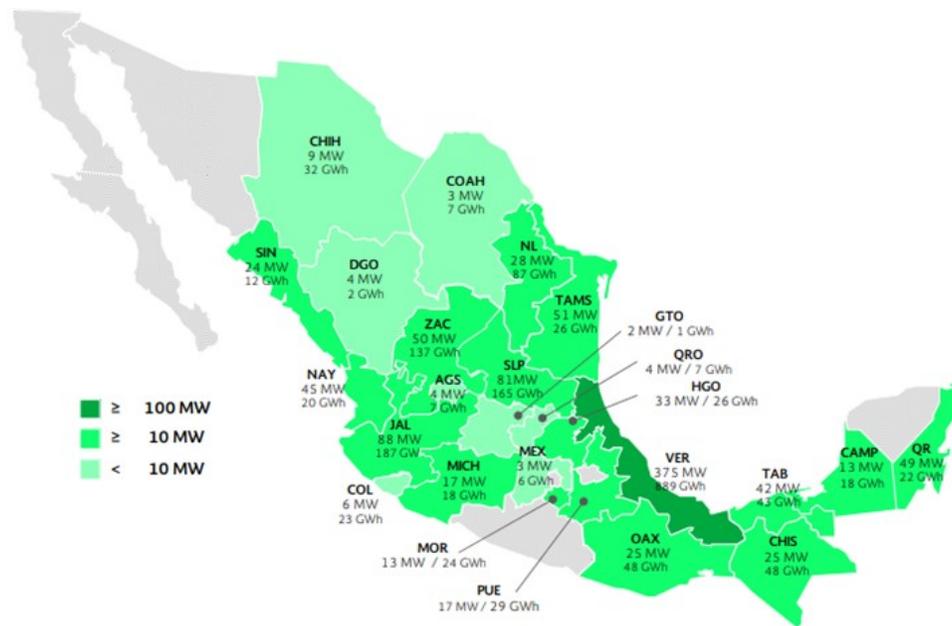


Figura 3.7 Capacidad y generación en centrales de bioenergía 2017

Fuente: SENER (2017)

3.1.6 POTENCIAL DE ENERGÍAS RENOVABLES EN MÉXICO

Diversos estudios sobre la valoración del potencial de energías renovables en el país estiman que México cuenta con recursos suficientes para satisfacer nuestras necesidades energéticas de manera eficiente y segura. Si se aprovechara el potencial solar, bastaría una superficie de 625 km² de instalación de sistemas fotovoltaicos en Sonora o Chihuahua para generar toda la energía eléctrica que requiere nuestro país (SENER, 2015a). La figura 3.8 muestra las categorías utilizadas en México para evaluar el potencial de las energías renovables.

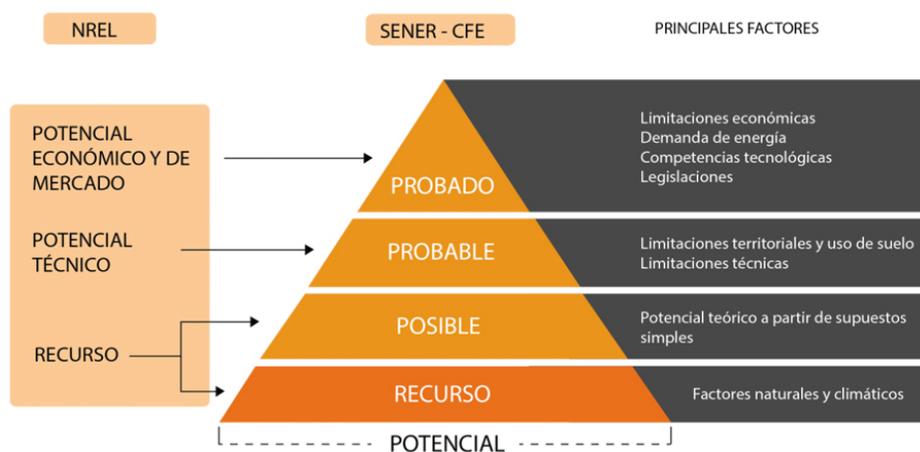


Figura 3.8 Categorías del potencial de las energías renovables en México

Fuente: SENER (2015a)

Por otra parte, según el Inventario Nacional de Energías Limpias (INEL), México tiene un potencial probado de generación de 13.167 GWh/año de electricidad, pero se aumentaría si se toma en cuenta las reservas probables y probadas de acuerdo a la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Potencial de generación eléctrica con energías limpias en México

TIPO DE ENERGIA	PROBADO GWH	PROBABLE GWH	POSIBLE GWH
GEOTÉRMICA	2,355	45,207	52,013
HIDRÁULICA	4,796	23,028	44,180
EÓLICA	19,805	--	87,600
SOLAR	16,351	--	6,500,000
BIOMASA	2,396	391	11,485

Fuente: SENER (2015a)

De Acuerdo al reporte del PRODESEN 2017-2031 en el año 2016 se tuvo un incremento en la capacidad instalada de 8.1%, sumando 73,510 MW de los cuales 71.2% corresponden a energías tradicionales, y 28.8% a energías limpias. La capacidad instalada por entidad federativa se puede apreciar en la figura 3.9.



Figura 3.9 Capacidad instalada por entidad federativa en el año 2016
Fuente: SENER (2016)

Como se puede observar en los estados de Baja California, Sonora, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Veracruz, Guerrero y Chiapas, es donde se concentra la mayor capacidad de generación de energía, y que no existe una sola entidad del país en la cual no se tenga generación de energía eléctrica.

3.1.7 Transmisión y distribución de energía

La capacidad de energía que se genera en México es considerable, pero también se debe tomar en cuenta la parte de transmisión, porque de nada serviría que se tenga una alta capacidad de generación de energía eléctrica sin que se tuviera los equipos adecuados para poder distribuir a los recintos donde se necesita. De acuerdo con el artículo 25 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, el único encargado de la transmisión y distribución de energía eléctrica en el territorio nacional es el Estado Mexicano. Por otra parte, la Red Nacional de Transmisión tiene una capacidad de transmisión de 72,450 MW dividida en 53 regiones y 63 enlaces, además de aportar los sistemas aislados de la Península de Baja California con una capacidad de 1,758 MW. También se tienen 11 conexiones a los Estados Unidos de América y 2 más para Centroamérica, donde algunas son

interconexiones de emergencia y otras se están utilizando para la exportación e importación de energía eléctrica (Campos, 2018).

3.2 ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN EL MUNDO

3.2.1 Generación de energía fotovoltaica en el mundo

- Países con mayor generación de energía fotovoltaica

De acuerdo a la Agencia de Internacional de la Energía en el año 2021 fueron instalado al menos 175 gigavatios de energía solar fotovoltaica, lo cual acumula 942 gigavatios en el mundo. A pesar de los problemas en la cadena de valor durante este año, China fue el mayor mercado mundial en capacidad anual instalada. De acuerdo a la AIE, China registró en el año 2021 instalaciones fotovoltaicas por valor de 54.9 gigavatios, en 2020 48.2 gigas y en 2019 30.1. En la figura 3.10 se presenta la potencia instalada y potencia acumulada en 2021, donde los principales países que más acumulan son: China, Unión Europea, Estados Unidos, Japón e India.

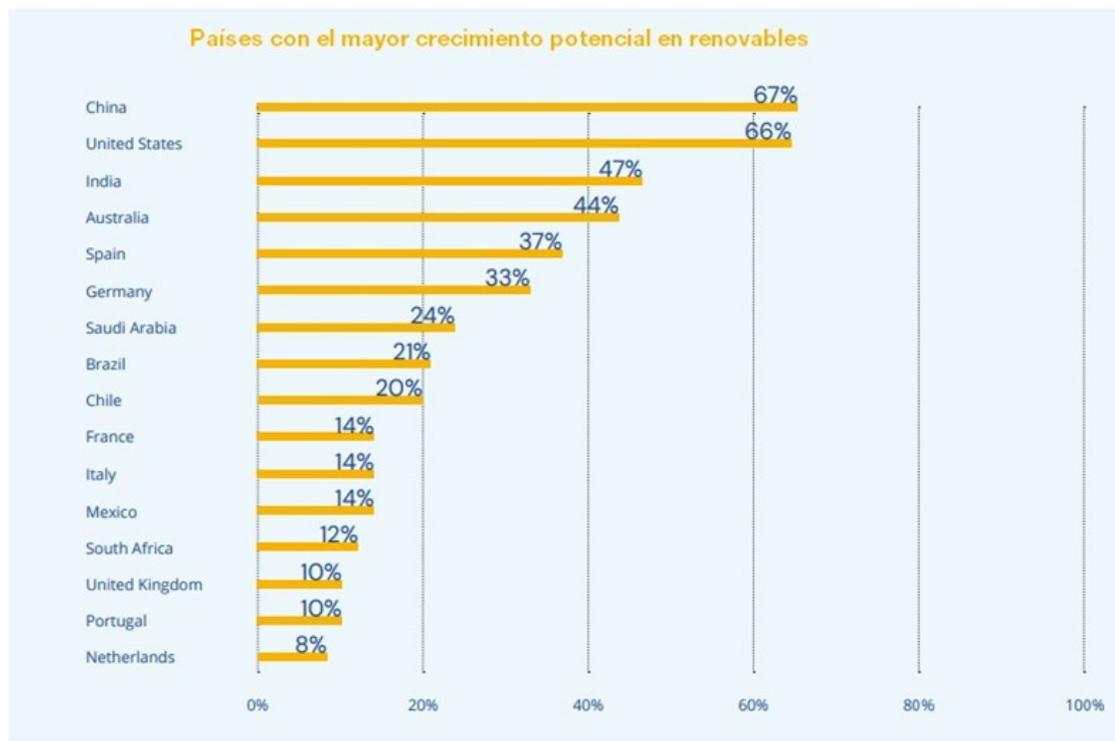
Top 10 por potencia instalada en el año 21, y por potencia acumulada							
Potencia instalada en 2021				Potencia acumulada a finales de 2021			
1		China	54,9 GW	1		China	308,5 GW
2		USA	26,9 GW	(2)		European Union*	178,7 GW
(3)		European Union*	26,8 GW	2		USA	123 GW
3		India	13 GW	3		Japan	78,2 GW
4		Japan	6,5 GW	4		India	60,4 GW
5		Brazil	5,5 GW	5		Germany	59,2 GW
6		Germany	5,3 GW	6		Australia	25,4 GW
7		Spain	4,9 GW	7		Italy	22,6 GW
8		Australia	4,6 GW	8		Korea	21,5 GW
9		Korea	4,2 GW	9		Spain	18,5 GW
10		France	3,3 GW	10		Vietnam	17,4 GW

La UE agrupa a 27 países, algunos de los cuales, por separado también entran en estos Top 10

Figura 3.10 Países con más potencia instalada

Fuente: Energías renovables (2022b)

- Países con mayor potencial de generación de energía solar fotovoltaica
De acuerdo a Energías renovables (2022a), en un panel de consulta a expertos definieron que el mayor potencial de crecimiento se percibe en China, seguido muy de cerca por Estados Unidos (donde la política y las declaraciones de la Administración del presidente Biden ha fijado como objetivo un sistema eléctrico completamente descarbonizado para el año 2035), la India ocupa la tercera plaza (quien se ha fijado como Horizonte de generación al año 2030 de 500 GW de potencia renovable y que de acuerdo al informe de RatedPower, India pasó de los 2,600 megavatios de potencia solar fotovoltaica instalada en marzo de 2014 a 60,400 en 2021), Australia y España cerrarían el Top 5 global.



Gráfica 3.1 Países con el mayor crecimiento potencial en energías renovables.

Fuente: Energías renovables (2022a).

3.3 ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN MÉXICO

México es un país con una enorme riqueza en hidrocarburos y son estos los que han representado la mayor oferta de energía primaria. Sin embargo, también tiene un enorme potencial de energías renovables en el ámbito del aprovechamiento del

sol; en este caso fotovoltaico. La insolación media es de 5.5 kWh/m² (IRENA, 2015) una de las más altas del mundo. Se tiene que los estados con mayor radiación solar son Baja California (3.5 a 7.2 kWh/m²), Nuevo León (5kWh/m²), Chiapas (4.7 a 5 kWh/m²), Yucatán (5.5 kWh/m²) y Estado de México (5.5 kWh/m²) (Celdares, 2022).

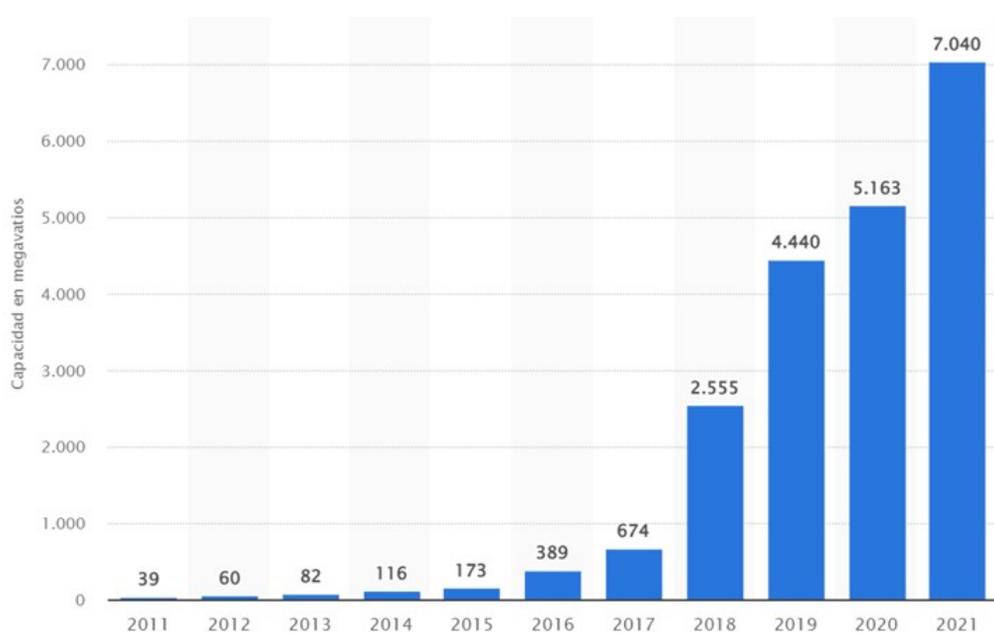
3.3.1 Capacidad instalada y potencial

De acuerdo con la Secretaría de Energía el 99.4% de la generación distribuida proviene de sistemas fotovoltaicos. En México se registró en 2020 más de 4,000 MW instalados de energía solar fotovoltaica, que represento un incremento del 30% con respecto al 2019. De acuerdo al El Sistema de Atención a Solicitudes de Interconexión y Conexión (SIASIC) del CENACE, se tiene que la potencia pico a interconectarse en el año 2021 será de 2,384 MW. Los 5 estados con mayor capacidad instalada son los siguientes:

1. Jalisco (157.94 MW)
2. Nuevo León (115.58 MW)
3. Estado de México (85.64 MW)
4. Ciudad de México (69.83 MW)
5. Chihuahua (63.76 MW).

De acuerdo al inventario de proyectos potenciales para la generación de electricidad por medio de energías limpias, se tiene una gran área de oportunidad para el desarrollo de la energía solar fotovoltaica en todo el país, a partir de proyectos de generación distribuida hasta megaproyectos, en particular en los estados de Coahuila, Sonora, Chihuahua, Zacatecas, Tamaulipas y Yucatán, los cuales son los que reportan la mayor capacidad instalada en proyectos por medio de paneles solares en etapas de construcción y obra (SENER, 2019b).

En la gráfica 3.2 se muestra la capacidad instalada de la generación de energía solar donde se observa un incremento importante del año 2016 al 2021. En el año 2021 se alcanzaron los 7,040 megavatios, lo que representó un crecimiento de 25.4% en relación al 2020.



Gráfica 3.2 Capacidad instalada de energía solar en México de 2011 a 2021

Fuente: Statista Research Department (2022).

Es importante mencionar que la SENER en coordinación con otros protagonistas clave contaban con mecanismos de seguimiento de las energías limpias en particular la solar fotovoltaica; por mencionar al Atlas Nacional de Zonas con Alto Potencial de Energías Limpias (AZEL), que formaba parte del parte del Inventario Nacional de Energías Limpias, una aplicación de navegación pública que mostraba el resultado de la evaluación del potencial de generación de electricidad con energía solar en el territorio nacional, dicha aplicación era alimentada con la información de la Comisión Reguladora de Energía. Misma que se espera sea reactivada y alimentada, ya que tiene una gran área de oportunidad para concentrar el avance en los ámbitos tanto ambientales como sociales de los proyectos (evaluaciones de impacto, procesos de consulta y acuerdos). Estos instrumentos necesitan ser conocidos y consultados tanto por los estudiantes como por el sector privado para fomentar su mejora continua, a pesar de que se tenga un panorama incierto de la energía solar fotovoltaica en el país, por lo que se está viviendo a causa de la pandemia por Covid 19.

La edición del New Energy Outlook de BloombergNEF de 2019 señala que para el 2032 se generará más energía eléctrica procedente de las fuentes de la energía solar fotovoltaica en comparación con la quema de carbón, en consecuencia, en México la capacidad instalada deberá crecer por seis en los próximos 32 años (BloombergNEF, 2020). Con esta proyección de la preferencia del uso de la energía solar fotovoltaica hay que preguntarse lo siguiente ¿qué hacer para controlar de una forma adecuada el crecimiento en la demanda?, si actualmente se tiene que el problema energético se ve como parte de la cadena de suministro, se encuentra que se tienen tantas vertientes, las cuales deben atacarse por tantos frentes, que todos y cada uno de ellos merece o debe ser atendido por especialistas de cada ramo de su especialización, para así obtener una eficiencia energética óptima.

3.3.2 oferta educativa relacionada con energía solar fotovoltaica

Consultando el Anuario Educación Superior – Técnico Superior, Licenciatura y Posgrado 2019-2020 publicado por la Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior (ANUIES), permitió obtener información sobre la oferta educativa a nivel superior que se encuentra enfocada en la energía solar fotovoltaica y otras energías renovables, donde las ofertas más demandantes en las universidades tanto públicas como privadas son:

- Ingeniería en energías renovables, disponible en 72 universidades.
- Técnico superior universitario en energía renovable, área calidad y ahorro de energía; disponible en 50 universidades.
- Ingeniería en energías, disponible en 26 universidades; entre otras.

Al realizar el análisis por entidades federativas donde existe una oferta educativa relacionada con energías renovables, se encontró el predominio en los siguientes estados: Coahuila (12 programas de estudio), Hidalgo (12 programas), Veracruz (10 programas), Baja California (9 programas), Puebla (9 programas) y Tamaulipas (9 programas); encontrando un predominio de ingenierías en energías renovables, seguido del nivel de técnico superior universitario, especializaciones y cursos. Con

esta visualización de la pertinencia de las universidades de los estados que cuentan con mayor presencia de oferta educativa y por ende de población estudiantil y egresados relacionada con el sector energético, se constituye como parte importante de la configuración de la cadena de suministro de la energía solar fotovoltaica. En las figuras 3.11, 3.12, 3.13, 3.14 y 3.15 se muestra la distribución de la oferta educativa por nivel.



Figura 3.11 Ubicación de oferta educativa de instituciones (CENIDET, INEEL, CEMER SC) que imparten cursos y diplomados en el país sobre energías renovables

Fuente: Elaboración propia con base en ANUIES (2020)



Figura 3.12 Ubicación de oferta educativa a nivel técnico superior en el país relacionadas con energías renovables

Fuente: Elaboración propia con base en ANUIES (2020)



Figura 3.13 Ubicación de oferta educativa a nivel licenciatura en el país de energías renovables

Fuente: Elaboración propia con base en ANUIES (2020)



Figura 3.14 Ubicación de oferta educativa a nivel Maestría en el país de energías renovables

Fuente: Elaboración propia con base en ANUIES (2020)



Figura 3.15 Ubicación de oferta educativa a nivel Doctorado en el país de energías renovables Fuente: Elaboración propia con base en ANUIES (2020)

Con esta información y la mostrada en la figura 3.13, se puede analizar qué estados del país concentran la mayor oferta de energía solar fotovoltaica y la oferta educativa, para proyectar las necesidades de capital humano. De lo expuesto, se puede observar que Baja California, Sinaloa, Chihuahua y Sonora son tienen oferta educativa a nivel superior con asequible demanda de recursos humanos, proveniente de los proyectos energéticos en energía solar fotovoltaica. Erika Masiel Salinas Talavera especialista en energías renovables sugiere en Energía Hoy (2020), que se deben integrar dentro de los programas de estudio, temas cómo derechos humanos, género e impacto social en los proyectos de energía, que al menos se tengan como temas selectos.

3.3.3 Impacto social y ambiental

De acuerdo a Energía Hoy (2020), las generaciones de ingenieros e ingenieras egresados de carreras afines a la energía solar fotovoltaica forman parte de un segmento muy valioso para iniciar con la sensibilización requerida, recepción de buenas prácticas y de experiencias de la indispensable evaluación del impacto social y de los procesos de consulta referente con los proyectos energéticos. Con esto, la formación adecuada de dichos profesionistas les daría la oportunidad de saber evaluar y promover los proyectos energéticos desde diferentes planos, como:

- Aportación al desarrollo económico de la región, zona, municipio, estado y del país.
- Aportar en el impacto ambiental y social en su entorno.
- Aportar en el cumplimiento de los compromisos internacionales en las cuestiones de la reducción en las emisiones de carbono.
- El valor de la inserción de las comunidades locales y respetar su decisión
- El valor de tener garantías con respecto a los derechos humanos y de la equidad de género en los proyectos.
- Permitir tener un aumento relevante en la búsqueda de la participación de las comunidades como parte de la planeación de los proyectos energéticos.

Los egresados de esta carrera deberán tener también las siguientes competencias:

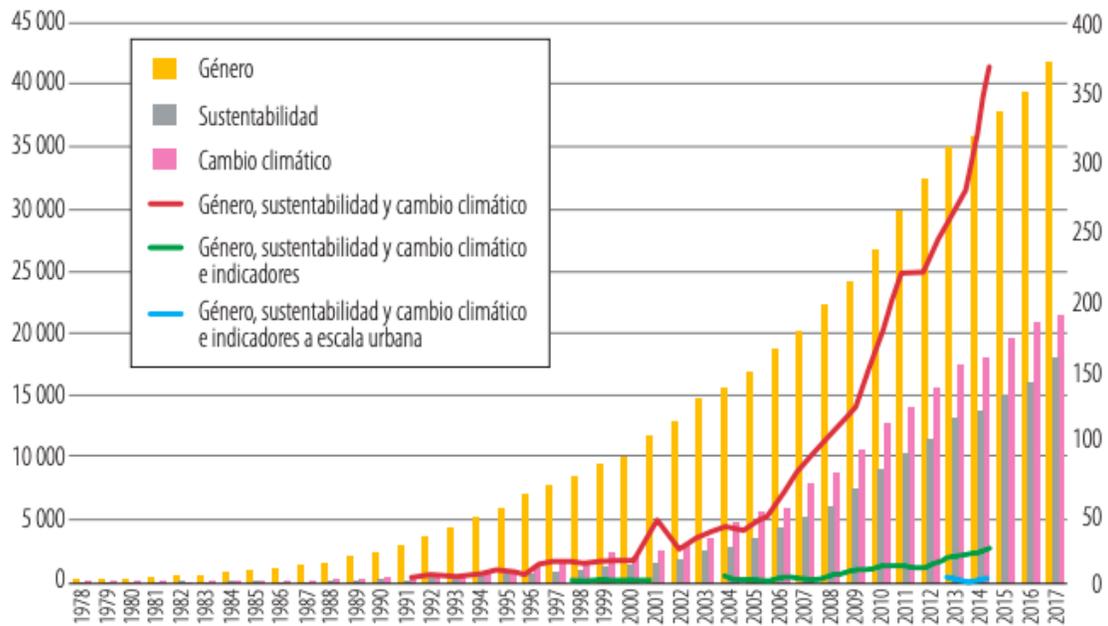
Como parte de una lectura forzosa dentro de los planes de estudio que se debe tener en cuenta la Evaluación de Impacto Social: Lineamientos para la evaluación y gestión de impactos sociales de proyectos de Vanclay (2015), donde se describen conceptos clave y relevantes para la evaluación de impacto ambiental. Incluso para los egresados que posteriormente estén involucrados en temas del financiamiento de proyectos de energía limpia, tener conocimiento de la metodología de evaluación y gestión de impactos ambientales y sociales, así como procesos y normas de desempeño de instituciones financieras internacionales, lo que también les permitiría introducirse en temas de financiamiento climático como serían en: la elaboración de marcos de referencia de incentivos verdes y sustentables es donde ahí se requieren cada día más de profesionistas calificados.

Los egresados y egresadas necesitan o requieren de una visión respecto a empresas y derechos humanos en la parte energética renovable, donde aborden temas como:

- ¿Qué son los derechos humanos?
- ¿Cómo afectan los proyectos energéticos a las comunidades??
- ¿Qué recomendaciones deben de implementarse en la gestión de proyectos renovables?
- ¿Qué tragedias deben evitarse, a partir de los casos ya conocidos en México y Latinoamérica?

En publicaciones indexadas sobre género, sustentabilidad, cambio climático e indicadores a escala urbana en Scopus, 1977-2017, referente a la equidad de género relacionado con la sustentabilidad que se muestran en la gráfica 3.3, se aprecia la cantidad de publicaciones por año. Con el mismo orden de ideas, los avances en los temas de equidad de género en el sector de energía dan respuesta a un requerimiento al ámbito público y privado, lo cual se ha sabido adoptar poco a

poco, lo cual se ha notado en el crecimiento de redes de empoderamiento, buscando disminuir la brecha de género en el sector energético en México. Por lo que se requiere cada día hacer un esfuerzo para incorporar y desarrollar temas relacionados con el género en las instituciones educativas, en especial en las universidades como parte de su formación de sus ingenieros e ingenieras. (De Luca et al., 2018).



Gráfica 3.3 Publicaciones indexadas sobre género, sustentabilidad, cambio climático e indicadores a escala urbana en Scopus, 1977-2017

Fuente: Tomado de De Luca et al. (2018)

Los proyectos energéticos y los involucrados, no son indiferentes en lo que se refiere a género, no obstante este aspecto no ha sido aún considerado en las aulas como parte de los estudio de los impactos; ni la importancia de la participación de las mujeres en el sector energía, no tanto como captador de impactos diferenciados sino como parte de agentes de cambio en sus redes organizacionales que es una de las partes que involucra la cadena de suministro de la energía solar fotovoltaica; cabe señalar que estos temas deben ser parte complementaria de la visión de las y los profesionistas en sector de la energía solar fotovoltaica.

El financiamiento, implementación y desarrollo de los proyectos de energía solar fotovoltaica ha mostrado ser la parte más sencilla del proceso de la cadena de suministro, si se toman en cuenta los conflictos que se derivan de una gestión deficiente como parte de los objetivos para el logro de un desarrollo económico, social e institucional duradero, promoviendo un sano equilibrio entre el estado, la sociedad civil y el mercado de la economía, el elemento social de los proyectos y su importancia se visualiza hasta que se presentan problemas en el proyecto para llevarse a cabo de acuerdo a lo planeado (Energía Hoy, 2020). En estas circunstancias se puede hacer el desarrollo de los proyectos energéticos más lento o inclusive detenerse, si se considera que en el norte del país se han identificado localidades indígenas con una gran población y de mismo modo en el sur.

De acuerdo a la información de la SENER (2019c), en el periodo 2014 al 2017 se realizaron 14 consultas orientadas a 83 comunidades en 11 estados del país, donde 5 no se consideraron como finalizadas, 8 se tuvo el consentimiento de la comunidad y 1 no se tuvo el consentimiento de la comunidad. Al realizar una comparación de estos datos con referente a la gran cantidad de proyectos de energía renovable que se encuentran en el territorio nacional, y de los casos en que se sabe de qué se han autorizado licencias o permisos sin que se haya realizado las consultas previas, pertinentes y libres por lo que de acuerdo a lo que pone de manifiesto la especialista Erika Masiel Salinas Talavera en Energía Hoy (2020) “la necesidad de difundir la legislación aplicable tanto nacional como internacional y los derechos y obligaciones de las comunidades en este entorno, con la finalidad de que se garantice el respeto a los derechos humanos y más específico en los derechos de los pueblos indígenas, que de acuerdo a los históricos son los que más salen afectados”.

3.4 CADENA DE SUMINISTRO DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN EL MUNDO Y MÉXICO

3.4.1 Cadena de suministro de la energía solar fotovoltaica en el mundo

Varios países han estado integrando con éxito partes cada vez más grandes de energía solar fotovoltaica y eólica variable en los sistemas eléctricos, mejorando las regulaciones y el diseño del mercado para compensar la flexibilidad y mejorando la transmisión y la interconexión para ampliar las áreas de equilibrio. En algunos casos, los países también están invirtiendo en capacidad de almacenamiento de energía (principalmente almacenamiento por bombeo). Los Países líderes en penetración de energías renovables variables (VRE) son: Dinamarca (casi 53%), Uruguay (28%), Alemania (26%), Irlanda, Portugal y España (por encima del 20%).

En el informe REN 21 (2018), se menciona que existen países y regiones que han integrado acciones de VRE en sus sistemas de energía, como las acciones instantáneas de la demanda total de períodos cortos durante el año 2017, que ha superado sus necesidades de energía. Por ejemplo, Australia del Sur, que generó más de 100% de la carga de la energía eólica únicamente y 44% de la carga de solar fotovoltaica solo en dos ocasiones separadas; Alemania (66% de la carga de energía eólica y solar combinados); el estado de Texas (54% de la carga de la energía eólica solo); e Irlanda (60% de la carga de la energía eólica solo).

Se ha hablado de la historia de las energías renovables y del punto en el que se encuentran en la actualidad, pero las investigaciones continúan y cada vez se buscan soluciones más innovadoras para aprovechar su potencial. Es importante mencionar que las energías renovables se crean en un flujo continuo y se disipan a través de ciclos naturales, debido a que su generación es incesante.

- Cadena de suministro de la energía solar fotovoltaica en Estados Unidos
De acuerdo al U. S. department energy (2022), la Orden Ejecutiva 14017 “America’s Supply Chains” instruye al Secretario de Energía a presentar un

informe sobre las cadenas de suministro como base industrial del sector energético. La Orden Ejecutiva ayuda al gobierno federal a construir de forma más segura diversas cadenas de suministro de los EE. UU., incluidas las cadenas de suministro de energía. Para combatir la crisis climática y evitar los impactos más severos del cambio climático, EE. UU. se compromete a Lograr una reducción del 50 al 52 por ciento de los niveles de 2005 en la contaminación neta de gases de efecto invernadero en toda la economía al 2030, crear un sector energético libre de contaminación por carbono para 2035 y lograr cero emisiones en toda la economía a más tardar en 2050. El Departamento de Energía de EE. UU. (DOE) reconoce que una cadena de suministro segura y resiliente será fundamental para cumplir con los resultados de las emisiones y aprovechar la oportunidad económica inherente a la transición del sector energético., donde las vulnerabilidades y riesgos potenciales para la base industrial del sector energético deben ser abordarse a lo largo de cada etapa de esta transición.

El informe de estrategia de la cadena de suministro de energía del DOE también resume los elementos clave de la cadena de suministro de energía como las estrategias que el gobierno de los Estados Unidos está comenzando a emplear para abordarlos. El DOE ha identificado tecnologías y temas transversales para análisis en el plazo de un año establecido por la Orden Ejecutiva. Junto con un informe de estrategia de política, esta Publicación cubren los siguientes sectores tecnológicos:

- Materiales de captura de carbono.
- Red eléctrica, incluidos los transformadores y la corriente continua de alta tensión (HVDC).
- Almacén de energía.
- Celdas de combustible y electrolizadores.
- Energía hidroeléctrica, incluida la energía hidroeléctrica de almacenamiento por bombeo (PSH).

- Imanes de neodimio
- Energía nuclear.
- Metales del grupo del platino y otros catalizadores.
- Semiconductores.
- Energía solar fotovoltaica (PV).
- Viento.

Durante la última década, la energía solar ha pasado de ser una tecnología de nicho emergente a una industria energética madura. Para 2035, la energía solar podría satisfacer el 40 % o más de la demanda de electricidad de EE. UU., acelerando drásticamente la descarbonización de edificios, transporte e industria; y, si las tendencias tecnológicas actuales continúan, podría hacerlo sin aumentar el precio de la electricidad.

La rápida expansión de la energía solar tiene el potencial de generar amplios beneficios en forma de actividad económica y desarrollo de la fuerza laboral. La industria solar ya emplea a unas 230,000 personas en los Estados Unidos, a un salario promedio que es más alto que el promedio nacional para la mayoría de los puestos comparables. Al descarbonizar el sector eléctrico para 2035, la industria solar de EE. UU. podría emplear entre 500,000 y 1 500,000 personas para 2030. La cadena de suministro que actualmente está operando se muestra en la figura 3.16.

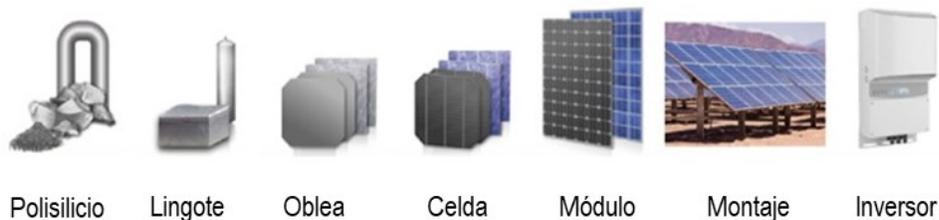


Figura 3.16 Cadena de suministro de la energía solar fotovoltaica

Fuente: Tomado de U. S. Department of Energy (2022)

Los componentes que se ensamblan para instalar un sistema de energía fotovoltaica son producidos por un suministro global de la cadena. Los módulos fotovoltaicos (PV) (también llamados paneles) están hechos de celdas que utilizan una variedad de tecnologías. Hay dos tipos principales de módulos solares utilizados en los Estados Unidos, con módulos de silicio cristalino (c-Si) que representan el 84% del mercado y los módulos de telurio de cadmio (CdTe) que representan el 16% del mercado. Los módulos de cualquier tipo requieren estructuras de montaje para proporcionar soporte mecánico (estantería), que puede ser configurado para seguir al sol (seguimiento). La salida de cualquier módulo fotovoltaico es corriente continua, que es casi siempre convertida a corriente alterna por un inversor.

La cadena de suministro de los módulos c-Si comienza con el refinado de silicio policristalino de alta pureza (polisilicio). El material de entrada principal para el polisilicio es el silicio de grado metalúrgico (MGS). MGS (también llamado silicio metal) es un material básico producido a partir de cuarzo de alta calidad. Alrededor del 12% del MGS del mundo se refina al hacer polisilicio de alta pureza para la cadena de suministro solar. El polisilicio se funde para producir silicio monocristalino en lingotes, que se cortan en finas obleas de silicio. Las obleas de silicio se procesan para hacer las células solares que son interconectados e intercalados entre láminas de vidrio y plástico para hacer módulos c-Si.

Alrededor del 97% de la producción mundial de obleas de silicio se produce en China. Esas obleas se envían desde China, convertidas en celdas solares. Alrededor del 75% de las celdas solares de silicio incorporadas en módulos instalados en el Estados Unidos son fabricados por subsidiarias chinas ubicadas en solo tres países del sudeste asiático: Vietnam, Malasia y Tailandia. Los Estados Unidos no tienen producción activa de lingotes, obleas o celdas de c-Si.

Estados Unidos tiene capacidad de producción de módulos CdTe de película delgada, que no dependen de la obtención de materiales de empresas chinas. Las instalaciones fotovoltaicas de EE. UU. que utilizan módulos CdTe (16% del total) fueron todas suministrado por una sola empresa estadounidense que produjo aproximadamente un tercio de esos módulos en los Estados Unidos.

La concentración de la cadena de suministro de c-Si en empresas con estrechos vínculos con China y una relación comercial impredecible con los Estados Unidos, representa un riesgo significativo de la interrupción de la cadena de suministro de c-Si. Dada la tasa a la que la economía de EE. UU. necesitará descarbonizarse. Es poco probable que cualquier tecnología fotovoltaica alternativa, incluido el CdTe, pueda desplazar al c-Si antes de 2035.

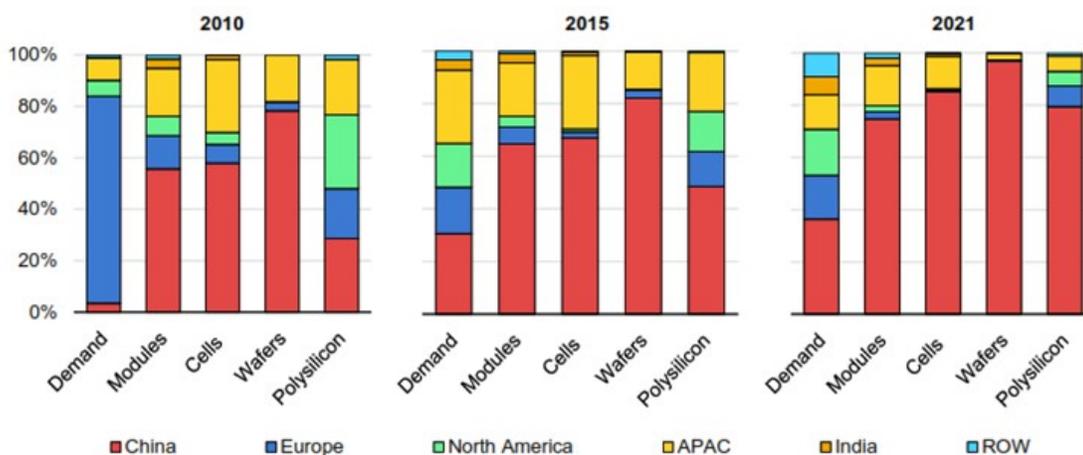
– Estrategias, acciones y recomendaciones

Un importante apoyo financiero e incentivos del gobierno de los Estados Unidos, así como acciones estratégicas enfocadas en la mano de obra, la fabricación, los derechos humanos y el comercio facilitarán una industria solar global alineada con EE. UU., sus intereses y el restablecimiento de un sólido liderazgo en la fabricación solar nacional, lo que lleva a tremendos beneficios para el clima, así como para los trabajadores, empleadores y la economía. Tres estrategias (acciones y recomendaciones) son fundamentales para el éxito de EE. UU. en la construcción de una cadena de suministro solar sólida:

1. Promulgar una legislación para proporcionar incentivos fiscales para apoyar la fabricación nacional, incluidos incentivos para la construcción de nuevas instalaciones y para la operación continua de esas instalaciones.
2. Promulgar una legislación para fomentar la adopción y el despliegue de energía solar doméstica.
3. Mejorar la coordinación de la política comercial en todo el gobierno de los EE. UU. para crear condiciones justas para la industria solar estadounidense y sus trabajadores.

- Cadena de suministro de la energía solar fotovoltaica en China

De acuerdo a IEA (2022) China domina significativamente todos los segmentos de la cadena de suministro de la energía solar fotovoltaica. Se ha producido un cambio geográfico importante en la capacidad de fabricación de energía solar fotovoltaica y producción en la última década. China reforzó aún más su posición de liderazgo como fabricante de obleas, células y módulos entre 2010 y 2021, mientras que la capacidad de producción de polisilicio global casi se triplicó. Hoy, la participación del país en todas las etapas de manufactura supera el 80 %, más del doble de su participación del 36 % en el despliegue fotovoltaico mundial.



Gráfica 3.4 Capacidad de fabricación de energía solar fotovoltaica por país y región 2010-2021

Fuente: IEA (2022)

Para obleas, China tiene muy poca competencia, mientras que, para células y módulos, el sudeste asiático tiene una capacidad de fabricación considerable, principalmente en Vietnam, Malasia y Tailandia. Para el polisilicio, Alemania sigue siendo un importante proveedor de c-Si para la industria de módulos, mientras que Estados Unidos y Japón poseen una capacidad significativa, pero centran su producción en productos de grado semiconductor. Considerando las plantas de fabricación en construcción y planificadas, se espera que el dominio de China en la manufactura de la energía solar fotovoltaica persista o incluso se expanda a corto plazo.

En todos los países excepto China, la demanda de energía solar fotovoltaica supera la capacidad de fabricación, desde polisilicio hasta módulos. En los últimos cinco años, solo la región de Asia-Pacífico fuera de China se ha vuelto capaz de cubrir cualquier parte significativa de sus necesidades, con producción ubicada principalmente en los países de la ASEAN. Aunque los países en América del Norte y Europa tienen una importante capacidad de fabricación de módulos, dependen casi por completo de China y el sudeste asiático para las células solares, a excepción de capacidad de fabricación vinculada a la tecnología de película delgada, que depende menos de la Cadena de suministro china. Además, China también es el principal fabricante de módulos. componentes que incluyen vidrio, EVA, lámina posterior y caja de conexiones. De acuerdo a PV Magazine (2022), la Administración Nacional de la Energía China señala que las nueve instalaciones en energía fotovoltaica en el país alcanzaron 37.73 GW, lo que acumuló 343.51 GW.

- Cadena de suministro de la energía solar fotovoltaica en Alemania
De acuerdo a Renewables (2022) Alemania es de los mayores productores de energía solar del mundo es la primera potencia solar europea y el 5°-6° país en capacidad instalada solar fotovoltaica en el mundo, a pesar de estar entre los países con menos horas de sol, En 2021 se instalaron en Alemania sistemas fotovoltaicos con una capacidad de 5,26 GW (pico), alcanzando una capacidad fotovoltaica acumulada de 59 GW (STROM-REPORT, 2022). El número de sistemas fotovoltaicos instalados supera los 2 millones, que generan 48,4 TWh de electricidad (el 10 % de la generación total de electricidad del país en 2021). La generación bruta de electricidad a partir de energía fotovoltaica ha crecido en un 186 % en el periodo 2011-2021, muy por encima del crecimiento de la generación eólica terrestre (87 %) o la biomasa (37 %).

De acuerdo a Fraunhofer ISE, la energía solar se ha convertido en el modo más barato de generar energía en Alemania. Dependiendo del tipo de instalación y de la intensidad del sol, generar un kWh con paneles solares ronda los 3,7

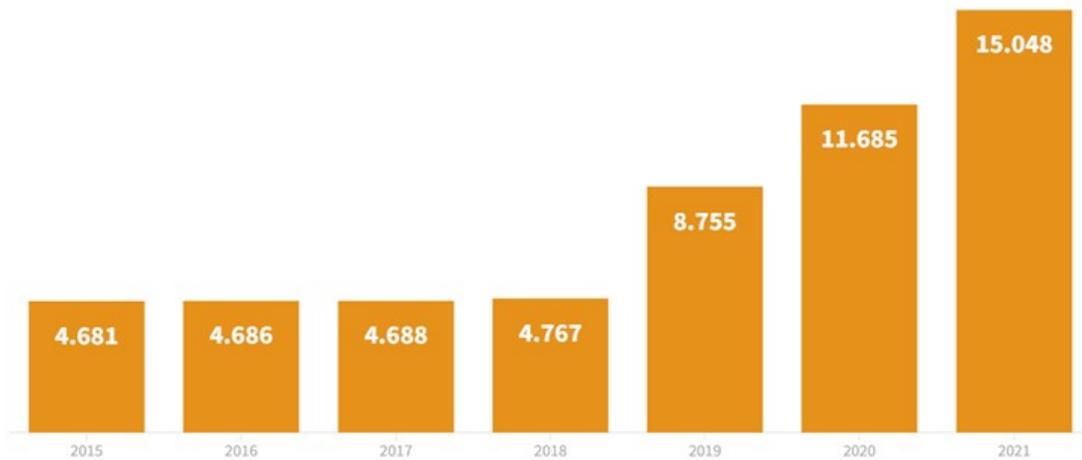
céntimos. El panorama energético solar alemán se caracteriza por tener miles de pequeños operadores de paneles. La capacidad fotovoltaica en el país es mayoritariamente propiedad de particulares, agricultores y empresas comerciales, donde las instalaciones solares con capacidad inferior a 10 kW representaron más del 60 % del total de instalaciones de Alemania en 2021 (statista, 2022).

En Alemania la integración de la cadena de suministro de las energías renovables en la producción energética es esencial para garantizar un suministro seguro, descentralizado y limpio. Entre los principales actores no institucionales, destacan empresas fabricantes de módulos y sistemas solares, como SCHOTT Solar AG, Kyocera Fineceramics GmbH, Sharp Energy Solutions Europe, Hanwha Q Cells AG, SolarWorld AG, Solar-Fabrik AG, PVflex Solar GmbH, Conergy Alemania, BP Solar, First Solar Inc., Solarwatt, Deutsche Solar AG, Bosch Solar Energy, Schüco International AG.

El mercado fotovoltaico alemán se encuentra en una fase alcista que se prevé que continúe en los próximos años. Gracias a una importante reducción de los costes asociados a la energía solar (los costes de los paneles se han reducido en un 90 % entre 2010 y 2021), la fotovoltaica cuenta con una posición muy favorable frente al resto de las energías renovables. Por otro lado, la industria de la calefacción solar registra actualmente un gran interés entre los clientes potenciales, principalmente en el sector de los servicios públicos municipales alemanes (ICEX, 2022).

- Cadena de suministro de la energía solar fotovoltaica en España

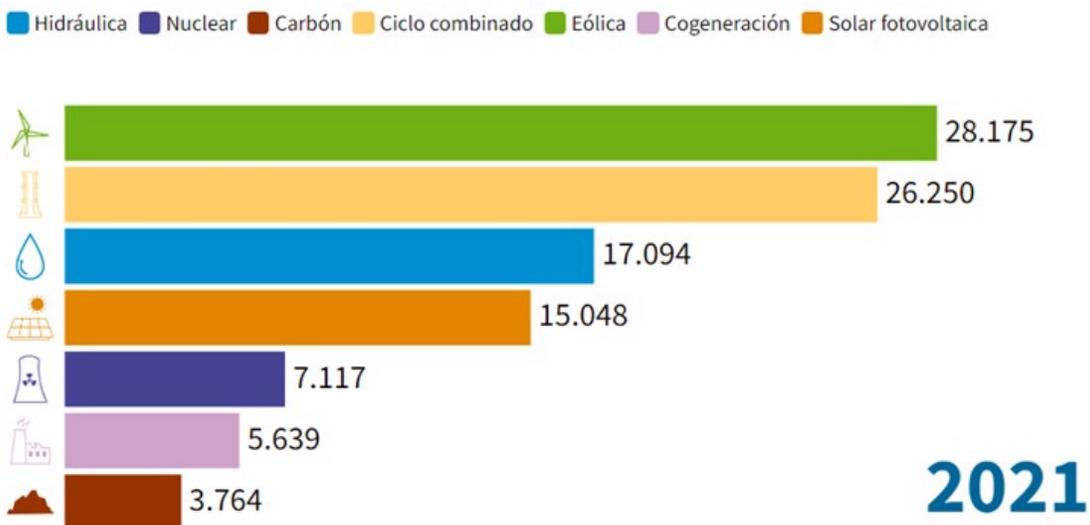
España es uno de los países que ha avanzado más en el proceso de transición energética. En el año de 2021, la energía solar fotovoltaica fue de las que más creció, donde la potencia instalada se incrementó un 28,8%, incorporando más de 3.300 MW.



Gráfica 3.5 Crecimiento de la energía solar fotovoltaica de 2015 a 2021

Fuente: tomado de Red Eléctrica (2022).

En 2021, las tecnologías renovables continuaron con su crecimiento al cierre de año representaban el 56,6% de la capacidad de producción nacional (112.846 MW). En total, el sistema eléctrico de España suma 63.896 MW de capacidad verde. (Gráfica 3.6).



Gráfica 3.6 Evolución de la potencia instalada de energía eléctrica en España (2006-2021 MW)

Fuente: tomado de Red Eléctrica (2022).

La Unión Española Fotovoltaica (UNEF) menciona que “España tiene un potencial para constituirse como un hub industrial fotovoltaico como lo ha sido el sudeste asiático con los paneles. Uno de los puntos que se plantea es proteger la industria, con un desarrollo estable de la capacidad, y dando mejores condiciones de financiación a fabricantes nacionales para que puedan ampliar su capacidad de fabricación. Para lo cual están considerando implementar una Estrategia Industrial Fotovoltaica que permita al sector fotovoltaico contribuir a la reindustrialización de la economía”. Con lo anterior, se espera generar empleo y contribuir a la recuperación del país.

La patronal defiende que el Plan de Recuperación debe ser la herramienta con la que incrementar el impacto económico y social de la tecnología fotovoltaica en el país, generando empleo y contribuyendo a la reactivación de la economía. También subraya que en España ya se han llevado a cabo varias iniciativas en la cadena valor de fabricación de módulos fotovoltaicos, aunque la mayoría de ellas ya no se encuentran operativas y la maquinaria podría estar obsoleta.

En España hay una industria química, metalúrgica, de fabricación de vidrio, de máquina herramienta, que dispone de conocimiento necesario para activar la mayor parte de los procesos de la cadena de suministro de fabricación, indica la UNEF.

En su informe anual, UNEF señala que hasta el 65% de los equipos se puede fabricar en España y que el país cuenta con la ventaja competitiva de disponer de terreno y el recurso solar. En este sentido, pide proteger la industria que ya existe con un desarrollo estable del mercado, «evitando los altibajos históricos del desarrollo de la generación renovable en España y dando mejores condiciones de financiación a los fabricantes nacionales para que puedan ampliar su capacidad de producción».

En España se han llevado a cabo diferentes iniciativas en la cadena valor de fabricación de módulos fotovoltaicos, aunque la mayoría de ellas ya no se encuentran operativas y la maquinaria podría estar obsoleta. También se destaca que en España existe una industria química, metalúrgica, de fabricación de vidrio, de máquina herramienta, que dispone de conocimiento necesario para activar la mayor parte de los procesos de la cadena de suministro de fabricación. En su informe anual de 2021, la UNEF señala que hasta el 65% de los equipos se puede fabricar en España y que cuenta con la ventaja competitiva de disponer de terreno y el recurso solar. Donde se pide proteger la industria que ya existe con un desarrollo estable del mercado, evitando los altibajos históricos del desarrollo de la generación renovable en España y dando mejores condiciones de financiación a los fabricantes nacionales para que puedan ampliar su capacidad de producción.

Por otro lado, la secretaria de Estado de Energía, Sara Aagesen, anunció en el Foro Solar 2022, organizado por UNEF, que “España va liderar un proyecto de interés comunitario (IPCEI) de fabricación de paneles solares en Europa, acotando que España tiene sol y terreno, beneficios que aportan competitividad frente al resto de países”. De igual forma el presidente de la UNEF, Rafael Benjumea menciona lo siguiente: “Que España cuenta con empresas con tecnología propia que son líderes a nivel mundial, especialmente en la fabricación de seguidores solares y de inversores. Unas condiciones óptimas que han generado en 2021 un incremento continuado de la capacidad instalada fotovoltaica, aumentando su presencia en el mix de generación de nuestro país”.

Otro punto que menciona la UNEF para que se agilice la cadena de suministro es lo siguiente “Una condición previa para que se aceleren los proyectos de energías renovables es simplificar y acortar los procesos de concesión de permisos, donde los largos procedimientos administrativos se han revelado como uno de los principales obstáculos para las inversiones en energías renovables e infraestructuras conexas». El trámite administrativo suele

conformarse como un cuello de botella de los proyectos. En este sentido, las tramitaciones de instalaciones fotovoltaicas en suelo se alargan de media unos 2 años, y pueden llegar hasta los cuatro, frente a una fase de construcción que puede resolverse entre seis y ocho meses.

En cuanto a marcos regulatorios, en el año 2021 en España aprobaron la Ley 17/2021 de Cambio Climático y Transición Energética donde se establecen las políticas de descarbonización en los distintos sectores. En el sector energético, esta ley establece el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) como la herramienta de planificación que integra la política de energía y de mitigación del cambio climático.

Respecto a la legislación, en 2021 se presentó el paquete de medidas Fit-for-55, donde se revisan ocho leyes existentes y cinco iniciativas nuevas, en una variedad de áreas y sectores económicos: clima, energía y combustibles, transporte, edificios, etc. En respuesta a la invasión de Ucrania por parte de Rusia, la Comisión Europea presentó el plan REPowerEU con el objetivo de independizarse energéticamente de Rusia antes de 2030. Asimismo, en línea de acelerar la independencia energética de la Unión Europea de Rusia, la Comisión presentó en mayo de 2022 la Solar Strategy con tres objetivos principales (Energías renovables, 2022b):

- Acelerar el despliegue a través de medidas del lado de la demanda para cumplir con los objetivos renovables de 2030.
- Garantizar el suministro de equipos y componentes fotovoltaicos a través de medidas del lado de la oferta, incluidos altos estándares de sostenibilidad y resiliencia de la cadena de suministro fotovoltaica mundial.
- Maximizar los beneficios socioeconómicos, el potencial y el valor de la energía solar para la sociedad en general.

- Cadena de suministro de la energía solar fotovoltaica en Colombia

En Colombia la energía solar fotovoltaica se ha convertido en una opción significativa para reemplazar la generación de energía convencional, Valderrama et al. (2018) menciona que no hay vínculos en las etapas de los procesos logísticos, únicamente enlaces aislados, lo cual dificulta su expansión. Uno de los puntos importantes que se necesitan como primer paso es madurar un modelo que permita potencia todas las etapas de la cadena de suministro. El marco regulatorio en cuanto a energías renovables y energía solar está en desarrollo y que dependerá de los requerimientos energéticos del país. El esquema planteado para la cadena de suministro de la energía solar fotovoltaica es el que se muestra en la figura 3.17.

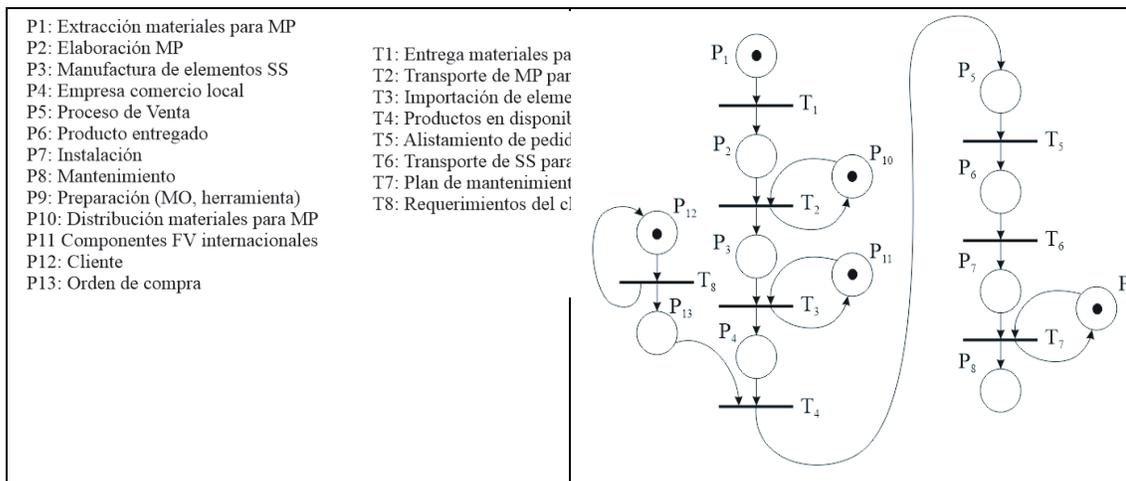


Figura 3.17 Cadena de suministro de la energía solar en Colombia

Fuente: Tomado de Valderrama et al. (2018)

3.4.2 Cadena de suministro de la energía solar fotovoltaica en México

López, Alcalá y Moreno (2012) contribuyeron con los primeros estudios exploratorios de la cadena de suministro de la energía solar en México, encontrando que no está articulada y que sólo se perciben eslabones aislados, de acuerdo a investigaciones desarrolladas y datos de empresas dedicadas a la fabricación, proveeduría, comercialización y prestación de servicios. Se encontró que la principal dificultad es la instalación y mantenimiento que presentan los generadores, además

del transporte de la electricidad generada hasta las redes de subtransmisión. Otro problema encontrado, fue que los recursos energéticos se encuentran alejados de los grandes centros de consumo y en lugares donde las líneas de abastecimiento de energía están planificadas para abastecer pequeñas localidades. En la figura 3.18 observar la cadena de suministro configurada por López, Alcalá y Moreno (2012).

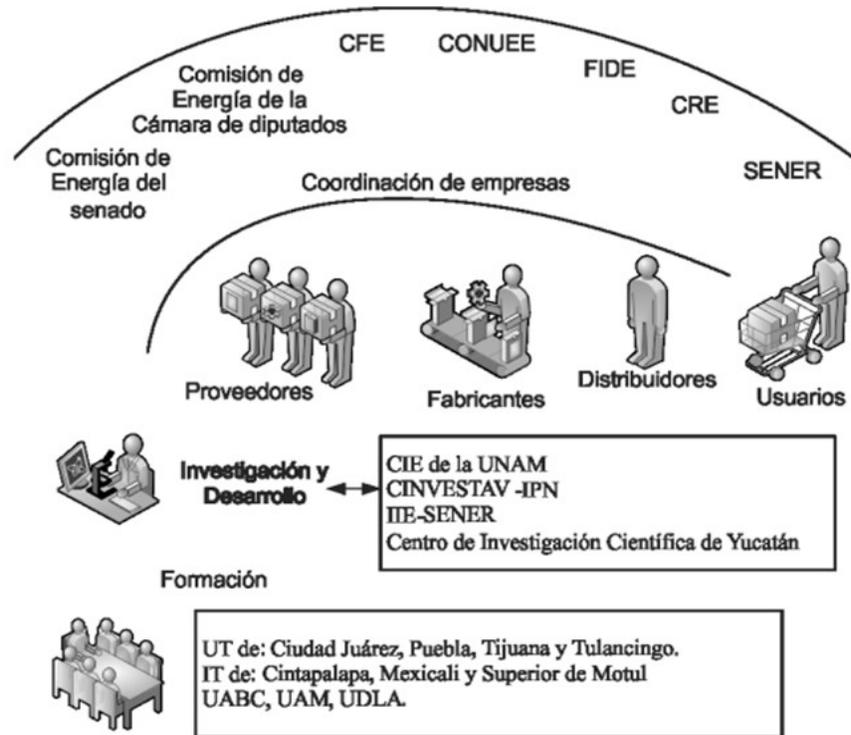


Figura 3.18 Cadena de suministro de la energía solar

Fuente: López, Alcalá y Moreno (2012)

El año 2016 fue el punto de quiebre para la cadena de suministro, hasta el momento se tenía lo siguiente:

- El desarrollo de la generación distribuida solar había sido estado impulsado esquemas de interconexión enfocados al autoabastecimiento, mediante proyectos de hasta 500 kW.
- Los sistemas fotovoltaicos intercambiaban energía con la red, almacenándola virtualmente, para utilizarla durante los periodos del día en los que crece la demanda.

- En algunas regiones, el desarrollo de estos proyectos estaba limitado a la capacidad de la CFE para procesar el volumen de trámites de interconexión y la disponibilidad de medidores bidireccionales para medir la energía intercambiada con la red.
- La regulación mexicana no permitía la venta de energía a la red, por lo cual la escala de los proyectos estaba limitada a satisfacer las necesidades propias de energía.

Después de las reformas de año 2016 se impulsó la cadena de suministro de la energía solar, dándose los siguientes resultados (PROMÉXICO, GIZ y IER, 2017):

- Bajo los nuevos esquemas regulatorios, los pequeños generadores no sólo pueden satisfacer sus necesidades de energía, sino que pueden vender energía a la red, y dará mayor dinamismo a la cadena de valor de la industria.
- Los cambios en la regulación, agilizan los tiempos de respuesta para las solicitudes de interconexión a la red.
- 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 SEN.
- Los sistemas fotovoltaicos de menor escala, que principalmente están destinados a abastecer las necesidades de energía en sitio, eventualmente estarán posibilitados para vender energía a la red eléctrica bajo la regulación nacional.

- A raíz de los cambios estructurales en el sector energético mexicano, y en particular con la introducción del nuevo modelo del MEM en enero de 2016, se dio inicio a una nueva dinámica para generar y adquirir energía eléctrica. Gracias a las nuevas oportunidades para inversiones de mayor escala en el sector eléctrico mexicano, el mercado nacional ha podido capitalizar los precios competitivos presentes en otras economías.
- Existen diversas instituciones que promueven y financian sistemas fotovoltaicos para los sectores vivienda, mipymes y agronegocios; entre ellas se encuentran el Infonavit, el FIDE, el FIRCO y FIRA. Estas instituciones cuentan con padrones de proveedores confiables, los cuales son verificados a través de terceros o por la propia institución; en los casos de Infonavit, FIRCO y FIDE, los proveedores son verificados a través de la ANCE, mientras que el FIDE cuenta con un comité interno encargado de validar y verificar a proveedores que pueden participar en los programas de financiamiento.
- A través de los portales electrónicos de ANES, FIDE y FIRCO, se identificó la presencia de más de 600 empresas que han incursionado en el mercado de la generación distribuida fotovoltaica en México.
- En el mercado se pueden encontrar la mayoría de los productos certificados con el sello FIDE, de por lo menos 28 empresas nacionales y extranjeras dedicadas a la manufactura de paneles fotovoltaicos.

De acuerdo a ASOLMEX (2021), que es la Asociación Mexicana de Energía solar, la cadena de suministro se ha fortalecido en los últimos años, de acuerdo a la siguiente información:

- México puede convertirse en la séptima potencia de energía solar en el mundo, donde 85% del territorio es apto para proyecto solares.
- Se tiene 8,860 MW de capacidad fotovoltaica instalada.
- 91,000 empleos generados en toda la cadena.
- 10,400 millones de dólares en inversión directa.
- 6,569 MW de capacidad solar de gran escala en operación comercial.

- 2,291 MW de capacidad instalada de generación solar distribuida.
- De acuerdo a IRENA, México tiene el potencial de contar con 30 GW de capacidad solar instalada para 2030.
- Se tiene a más de 100 empresas relacionadas con los segmentos de la cadena de la energía solar.

Lo anterior demuestra cómo se ha promovido la cadena de suministro, donde se ve la importancia de las regulaciones, los proyectos, las inversiones y el trabajo coordinado. Sin embargo, no se habla de un esquema metodológico que permita ver todos los eslabones, sus conexiones, puntos fuertes y débiles, perspectivas, por lo que aún se percibe desarticulada.

3.5 MEJORES PRÁCTICAS INTERNACIONALES DE POLÍTICA PÚBLICA EN ENERGÍAS RENOVABLES

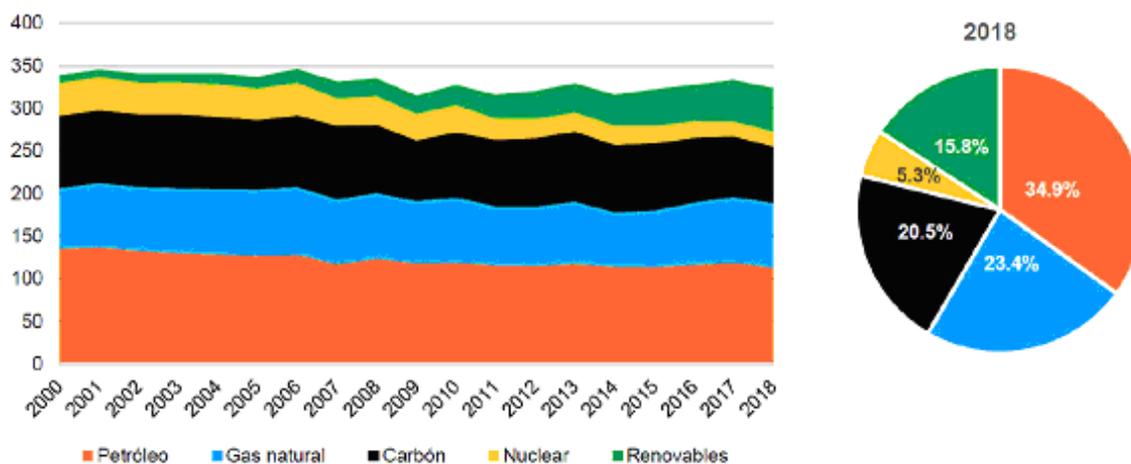
La transición energética engloba numerosos aspectos de política pública que mezclan la búsqueda de la supremacía energética, el combate a la contaminación ambiental y el desarrollo de las capacidades nacionales en el desarrollo de las tecnologías. Para lo anterior, se han identificado planes nacionales de gran alcance y que son referencia en países como Alemania, China y Francia; así como los instrumentos comunes de esas políticas dadas las circunstancias, donde la acción directa del Estado promueve y facilita el juego de la oferta y la demanda.

3.5.1 Alemania: la *Energiewende* "Industria 4.0"

La *Energiewende*, término alemán que representa su transición energética, como propósito central tiene en lograr un suministro de energía confiable, seguro y responsable con el medio ambiente. Sus elementos principales se basan en tener una mayor participación de las energías renovables dentro de su la matriz energética, así como de una mayor eficiencia energética. Sus principales objetivos son: apoyo en la lucha contra el cambio climático, reducción en la importancia de la

energía, estimular la innovación tecnológica y una economía verde, mitigar los riesgos de la energía nuclear, garantizar la seguridad energética, así como fortalecer a las economías locales. En Alemania La "Industria 4.0" se encuentra alineada con los enfoques alemán-japonés para la innovación y el desarrollo económico. Esta estrategia fue implementada en el 2013 con el propósito de consolidar un liderazgo tecnológico alemán en la energía mecánica, la cual se basa en la estrategia de alta tecnología 2020 del gobierno alemán y forma parte de uno de sus 10 proyectos clave (Ministerio Federal de Relaciones Exteriores, 2020).

El plan es que durante un periodo de entre 10 a 15 años será el de impulsar la fabricación digital por medio el aumento de la digitalización e interconexión de productos. Lo que implica adoptar tecnología de la información e internet de las cosas, con el fin de tener conectadas a sus pequeñas y medianas empresas con la producción mundial. De acuerdo a los resultados obtenidos, se tuvo que en el año 2000 las energías renovables representaron el 2.6% del total de su energía de su matriz energética, en tanto que para el año 2018 tuvo un incremento de participación del 15.8%. Aunque sigue siendo la base de su requerimiento energético las energías fósiles, se puede destacar que en 18 años las energías renovables crecieron alrededor de 5 veces en términos de consumo de energía y el consumo nacional de energía disminuyó el 0.3% por año durante el periodo de análisis (Gráfica 3.7).



Gráfica 3.7 Evolución de la matriz energética de Alemania, 2000-2018
(Millones de toneladas equivalentes de petróleo crudo)

Fuente: DOF (2020)

3.5.2 Ley de Transición Energética para el Crecimiento Verde del gobierno de Francia

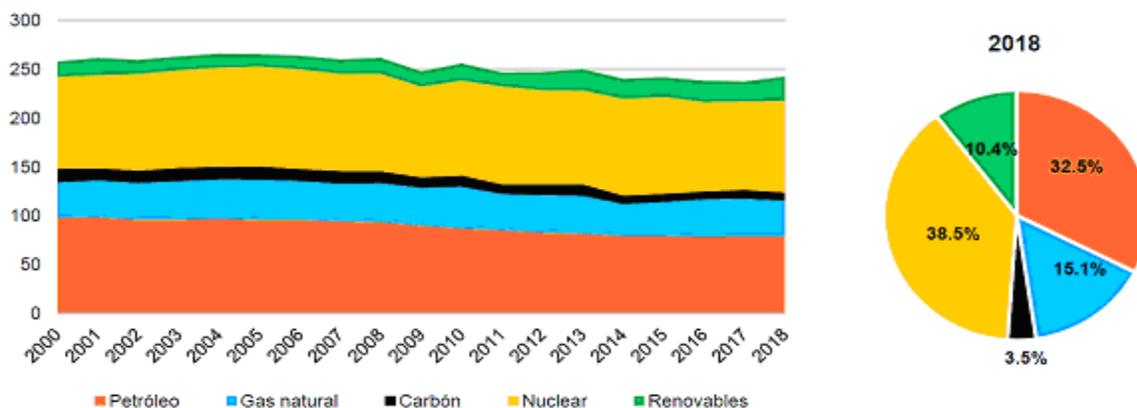
De acuerdo a Francois, (2017), la Transición Energética en Francia está basado en un plan orientado a un nuevo modelo energético, que sería más fuerte y sustentable respecto a su respuesta a los retos en el suministro de energía, donde se tendrían cambio en los precios, así como en el agotamiento de recursos y protección al medio ambiente. La Ley de Transición Energética para el Crecimiento Verde, de una forma en particular, sus planes de trabajo están relacionados y diseñados de tal manera que proporcionen a Francia los medios para contribuir en la lucha contra el cambio climático, que a la vez vaya fortaleciendo su independencia energética al diversificar su matriz energética. Esta Ley brinda un marco para la operación en conjunto de los ciudadanos, empresas, provincias y gobierno nacional, con el objetivo de establecer metas para el mediano y largo plazo.

Para la transición energética de Francia uno de sus mayores retos que se percibe, radica en la implementación adecuada de las medidas de eficiencia energética, que puede considerarse como la piedra angular de esta transición. De forma particular, predomina la necesidad de reforzar los esquemas de apoyo existentes, tales como créditos y préstamos; fortalecer los programas que reducen el consumo energético de aparatos y hogares; así como desarrollar instrumentos financieros a gran escala para el reacondicionamiento de edificios.

En el caso de Francia, destacan las energías renovables en su matriz energética, donde paso de 6.1% a 10.4% entre 2000 y 2018. De la misma forma que en Alemania, el carbón sigue teniendo una participación significativa. La energía nuclear y a los derivados del petróleo tienen también una alta participación en su matriz energética, las cuales se han sustituido poco a poco por las energías renovables. En el año 2000, el petróleo y la energía nuclear representaron el 75%

de la matriz energética, pero para el año 2018 estas energías disminuyeron su participación conjunta a 71% del total consumido (Francois, 2017).

El crecimiento de consumo nacional de energía de Francia se estabilizó y comenzó una disminución de 0.3% por año a partir del año 2000 y hasta 2018, ver gráfica 3.8.



Gráfica 3.8 Evolución de la matriz energética de Francia, 2000-2018 (Millones de toneladas equivalentes de petróleo crudo)

Fuente: DOF (2020)

3.5.3 China: Hecho en China 2025

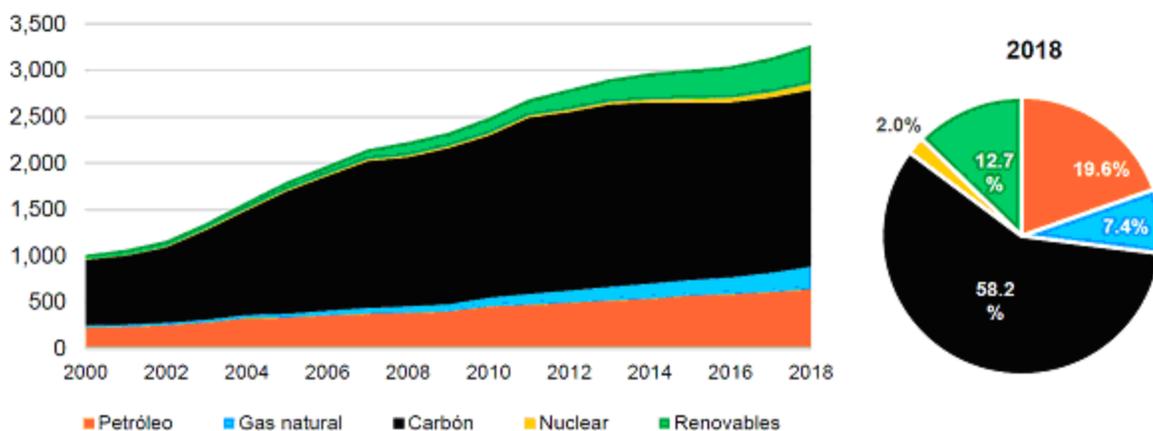
Lo de *Hecho en China 2025* su objetivo es tener una reducción de la dependencia en importaciones de tecnología extranjera e invertir fuertemente en sus propias innovaciones, para la creación de compañías que les permita competir tanto a nivel nacional como internacional. Esta estrategia integral está proyectada a 10 años y centrada en la fabricación inteligente, que contempla 10 sectores estratégicos y asume el objetivo de garantizar la posición de China como una potencia mundial en las industrias de alta tecnología; como es la robótica, aviación y vehículos de combustibles alternos, como electricidad y biogás.

El impulso de este plan está dado por la investigación y el desarrollo, visto como un elemento crítico para el crecimiento sostenido y la competitividad de China en las próximas décadas a medida que se va convirtiendo en una economía desarrollada.

Se busca también que los fabricantes chinos aseguren que sigan siendo competitivos con los productores emergentes de bajo costo, como es Vietnam. El plan implica reemplazar la dependencia de China en las importaciones de tecnología extranjera con sus propias innovaciones y crear compañías que puedan competir tanto a nivel nacional como internacional.

Por lo tanto, en su proceso de fabricación nacional existe un fuerte énfasis, donde se busca tener un incremento en la producción, no únicamente en los elementos esenciales, sino también en el producto final. Otras directrices incluyen el cumplimiento de los objetivos de desarrollo verde, que son importantes para las estrategias del gobierno en cuestión del combate al cambio climático y a su vez poder abordar el impacto de la industrialización en materia de salud y medio ambiente.

El desarrollo económico de China hizo que se triplicara su consumo nacional de energía entre los años 2000 y 2018, donde destaca el abastecimiento de energías renovables con un crecimiento de 8 veces en este periodo, donde su participación se incrementó del 5% a 12.7% en su matriz energética. Así, las energías renovables han podido ganar terreno al carbón y el petróleo, donde participación conjunta ha disminuido de 92.5% a 77.8% entre los años 2000 y 2018, ver gráfica 3.9.



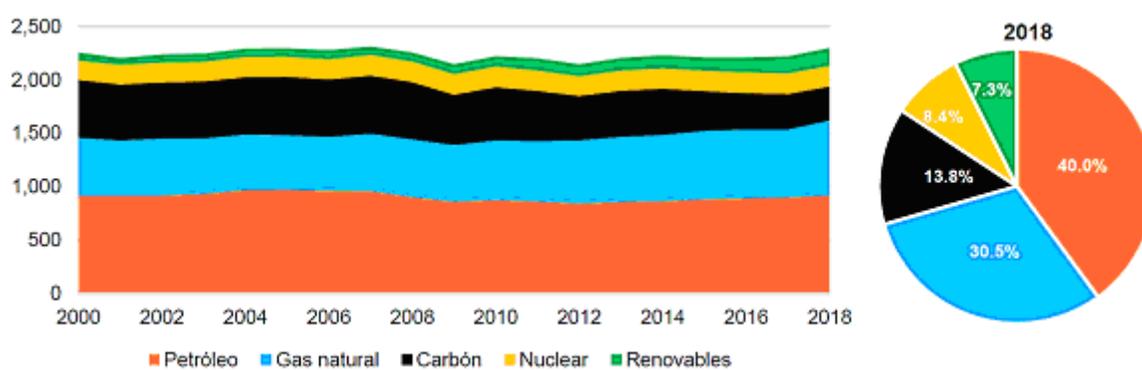
Gráfica 3.9 Evolución de la matriz energética de China, 2000-2018

(Millones de toneladas equivalentes de petróleo crudo)

Fuente: DOF (2020)

3.5.4 Estados Unidos

Dado el vínculo que tiene las cadenas productivas de su industria, no se considera una referencia como estrategia la transición energética, pero si es importante conocer la evolución de su matriz energética. Estados Unidos cuenta con una base fuerte de petróleo de 40% y de gas natural con un 30% dentro de la configuración de su matriz, donde las energías renovables tienen una participación de 7.3%, ver gráfica 3.10 (Gómez y Sanz, 2019).



Gráfica 3.10 Evolución de la matriz energética de Estados Unidos, 2000-2018
(Millones de toneladas equivalentes de petróleo crudo)

Fuente: DOF (2020)

3.5.5 México

México de acuerdo a la Agenda 2030 plantea lo que menciona el Objetivo de Desarrollo Sostenible número 7, que es garantizar energía factible y a su vez que no contamine, lo que incluye mejorar la eficiencia energética y aumentar considerablemente la proporción de energías renovables en el conjunto de fuentes energéticas.

Tal objetivo, responde a las grandes cantidades de emisiones de carbono emitidas para satisfacer las necesidades energéticas de los países. Como lo indica el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, que alrededor del 60% de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero es por la energía. Según la

Sexta Comunicación Nacional sobre el cambio climático en el caso de México, el dato de las emisiones nacionales totales ascendía al 71.1%. Dicho de otra forma, las emisiones en el sector de la energía son las que contribuyen en su mayoría al aporte al cambio climático de México. También, de acuerdo al tipo de generación de energía de que provienen, se tendrá cierta cantidad de emisiones de carbono.

De acuerdo con el Bloomberg NEF (2018), México y otros países tales como Brasil, India, Chile, Sudáfrica, Egipto y Marruecos les ofrecían a los inversionistas internacionales un marco claro y transparente de actuación, por medio de un programa de subastas, lo que permitía a los gobiernos atraer grandes cantidades de inversión extranjera a precio competitivo para proyectos de energías limpias; en este caso México tuvo una participación muy importante del 64% tal como se ilustra en la figura 3.19.

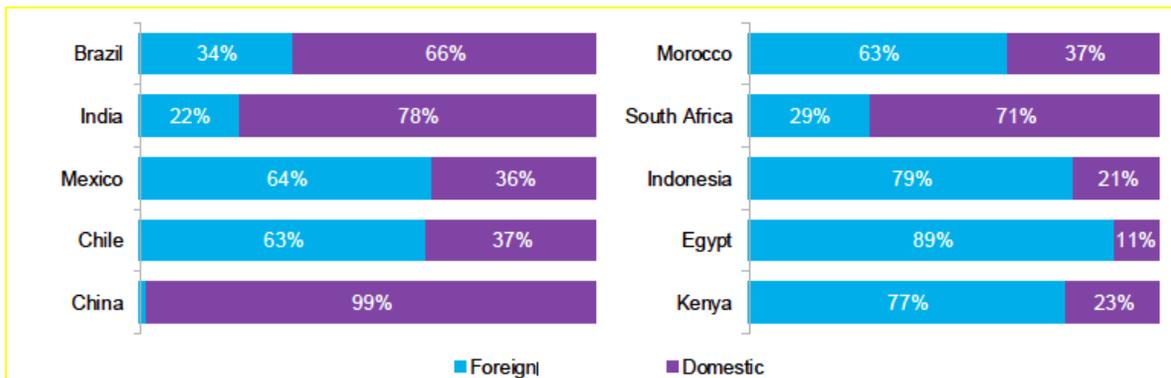


Figura 3.19 Participación de la financiación de activos extranjeros divulgada en determinados mercados emergentes, en los últimos 10 años

Fuente: BloombergNEF (2018)

Las reformas a la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica han favorecido desde 1992 la participación de la industria privada en la generación de energía eléctrica para actividades que no constituyan servicio público. Se establecieron modalidades como el autoabastecimiento y la cogeneración para el consumo de los que están involucrados en el proyecto, y la producción independiente de energía para los proyectos cuyo fin es vender la energía eléctrica generada a la Comisión

Federal de Electricidad (la CFE). En el rubro de la generación de energía eléctrica para el servicio público mediante el uso de recursos renovables, por mandato constitucional, la CFE deberá aprovechar los bienes y recursos naturales con que cuenta el país, como pueden ser las grandes presas existentes, así como la energía nuclear, mientras que las demás formas de generación están permitidas en las modalidades autorizadas en la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica. Asimismo, la Comisión Reguladora de Energía (CRE) ha aprobado los instrumentos regulatorios necesarios para permitir a los particulares desarrollar proyectos de energías renovables, tales como el Contrato de Interconexión para Fuente de Energía Renovable y el Contrato de Interconexión para Fuente de Energía Solar en Pequeña Escala. (López, 2009)

La Legislación aplicable a la materia de Energías Renovables, es relativamente nueva dentro del Marco Jurídico Nacional, no obstante que existen varios ordenamientos de regulación indirecta, es decir que el contenido de sus disposiciones se involucra con aspectos vinculados con las Energías Renovables, principalmente nos referimos a las siguientes leyes: (Montejano, 2014).

Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, Ley de Energía para el Campo. (Publicado el 8 de octubre de 2003), Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. (Publicado 30 de diciembre de 2002), Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable. (publicado 28 de enero de 1988), Ley de Petróleos Mexicanos. (publicada 25 de febrero de 2003), Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en el Ramo de Petróleo. (publicada 28 de noviembre de 2008), Ley de la Comisión Regulatoria de Energía (publicada 29 de noviembre de 1958), Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica (publicada 31 de octubre de 1995).

Los ordenamientos señalados anteriormente, contienen diversas disposiciones que se vinculan con la regulación de las Energías Renovables, aun en aquellos que tienen por objeto, la regulación de la generación de energía a través de los

combustibles fósiles no renovables, como el gas o petróleo, y no fueron en principio legislados, considerando específicamente la materia objeto de estudio. Por otra parte, existen ordenamientos federales que podríamos considerar como los instrumentos jurídicos más destacables en materia de Energías Renovables, nos referimos a los siguientes: (Montejano, 2014)

Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética. (publicado el 28 de noviembre de 2008), Reglamento de la Ley para el Aprovechamiento de Energía Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (publicada 2 de septiembre de 2009), Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos. (publicada 1° de febrero de 2008), Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (publicada 28 de noviembre de 2008). De lo anterior se desprende que el reconocimiento y el cumplimiento de los derechos humanos es el eje rector del actuar de todas las autoridades mexicanas en todos los órdenes de gobierno, lo cual incluye a las autoridades estatales y municipales, además de los tres poderes, a saber, el Poder Ejecutivo, el Poder Legislativo y el Poder Judicial. Dentro de estos derechos humanos se encuentra reconocido el derecho al medio ambiente sano, mismo que puede ser promovido y respetado a través de la implementación de proyectos de energías renovables en tanto que éstas ayudan a disminuir la emisión de GEI como ha sido explicado previamente.

CAPÍTULO 4

PROPUESTA DE CONFIGURACIÓN DE LA CADENA SUMINISTRO DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN MÉXICO Y SU DESCRIPCIÓN

El objetivo de esta investigación es proporcionar un marco de trabajo para la toma de decisiones multicriterio basado en los principios de la *Triple impacto*, *Triple Objetivo* o *Triple Balance* (Triple Bottom Line, por sus siglas en inglés (TBL)) para el desarrollo de la cadena de suministro sostenible en el sector de las energías renovables fotovoltaicas. El marco propuesto abarca toda la cadena de producción de energía, desde los proveedores de materias primas hasta su eliminación y reciclado. En particular, el sector de la energía fotovoltaica se ha utilizado como ejemplo y representa el centro de atención de este trabajo. El marco se basa en las tres dimensiones de la TBL: social, económica y medioambiental. Además, la revisión de la literatura, se utiliza para identificar y evaluar los subcriterios de cada dimensión. Los resultados están en consonancia con el desarrollo de la energía fotovoltaica en el período 2015-2022 en 8 países incluido México. El marco propuesto, proporciona a los actores y responsables de la toma de decisiones una herramienta poderosa para tomar decisiones de inversión sostenibles en el sector de la energía fotovoltaica.

Actualmente está bien aceptado que el desarrollo económico, tecnológico, social y político requiere que se intensifique el uso tanto de la energía sostenible como de la energía diversa (Streimikiene et al., 2012), lo que conduce a la utilización de

Fuentes de Energía Renovable (FER) más eficientes, al tiempo que se reduce el uso de la energía fósil. En este contexto, la energía fotovoltaica (EF) desempeña actualmente un papel fundamental y se espera que su importancia aumente (EuropeanCommission, 2017).

De 2010 a 2017, la capacidad fotovoltaica global se disparó más de un 970% de menos de 41 GW y, mirando hacia atrás diez años, el mercado fotovoltaico creció más de 80 veces desde los 5 GW de la capacidad fotovoltaica total puesta en marcha a finales de 2005. La cuota total alcanzó el 12.1% de la producción mundial de energía en 2017 (SolarPowerEurope, 2019). Aunque la capacidad total instalada en Europa representa alrededor del 28,4% del potencial total de energía fotovoltaica en el mundo, el 86,8% de ésta se localiza en siete países: Alemania, Italia, Reino Unido, Francia, España, Bélgica y Grecia.

Aunque la energía fotovoltaica está empezando a desempeñar un papel importante en la generación de energía en muchos países, se sabe que se han cometido algunos errores en la adopción de esta Energía Renovable. De hecho, la aplicación de políticas para promover el uso de la energía fotovoltaica, ha provocado importantes desequilibrios en los sistemas eléctricos y la distorsión de los precios de la electricidad en algunos países (Avril et al., 2012; Honrubia-Escribano et al., 2018; Pyrgou et al., 2016; Ramírez et al., 2017).

Además, los principios de la TBL (Elkington, 1997), basados en los pilares económico, social y medioambiental de la sostenibilidad, han presionado a los gobiernos y a las empresas para que alcancen la sostenibilidad medioambiental y social, además de la dimensión económica tradicional. Por lo tanto, en el contexto actual se requieren procesos de toma de decisiones más eficaces que incluyan aspectos ambientales y sociales que superen la perspectiva económica, lo que puede lograrse poniendo en práctica los principios de la TBL.

La cadena de suministro de energía fotovoltaica (CSEFV) incluye todas las actividades relacionadas con los flujos de transformación de los materiales y la energía, desde las materias primas, pasando por los proveedores, los ensambladores de sistemas fotovoltaicos, los distribuidores y los usuarios finales o consumidores, hasta la recuperación y la eliminación de las plantas de energía, así como los flujos de formación asociados.

Considerando la cadena de suministro sostenible como una rueda compuesta por seis ejes que cumplen las funciones más importantes en la cadena (abastecimiento, transformación, entrega, propuesta de valor, clientes y reciclaje) (Hassini et al., 2012), podemos identificar los principales factores que influyen en ellos. Por otra parte, y basándonos en la revisión de la literatura, hemos agrupado estos factores en las tres categorías de sostenibilidad, de acuerdo con el TBL. Como resultado, se propone un esquema de la cadena de suministro de la energía fotovoltaica en México con sus principales actores y los subcriterios seleccionados asociados a los niveles de la cadena de suministro en la figura 4.1. Para seleccionar nuestra cartera de alternativas de los diferentes países a investigar y que sirvieron de marco de referencia, se basó en los ocho países que han llevado a cabo el mayor desarrollo del sector fotovoltaico en los últimos quince años en Europa, América y países en desarrollo: China, Alemania, España, Estados Unidos, Brasil, Argentina, Colombia y México. Los casos de Argentina y Colombia se estudian por compartir similitudes geopolíticas y como países en vía de desarrollo en el continente, como es el caso de México, el cual ocupa nuestro interés particular y en la que se basará la presentación de los resultados presentes en este apartado.

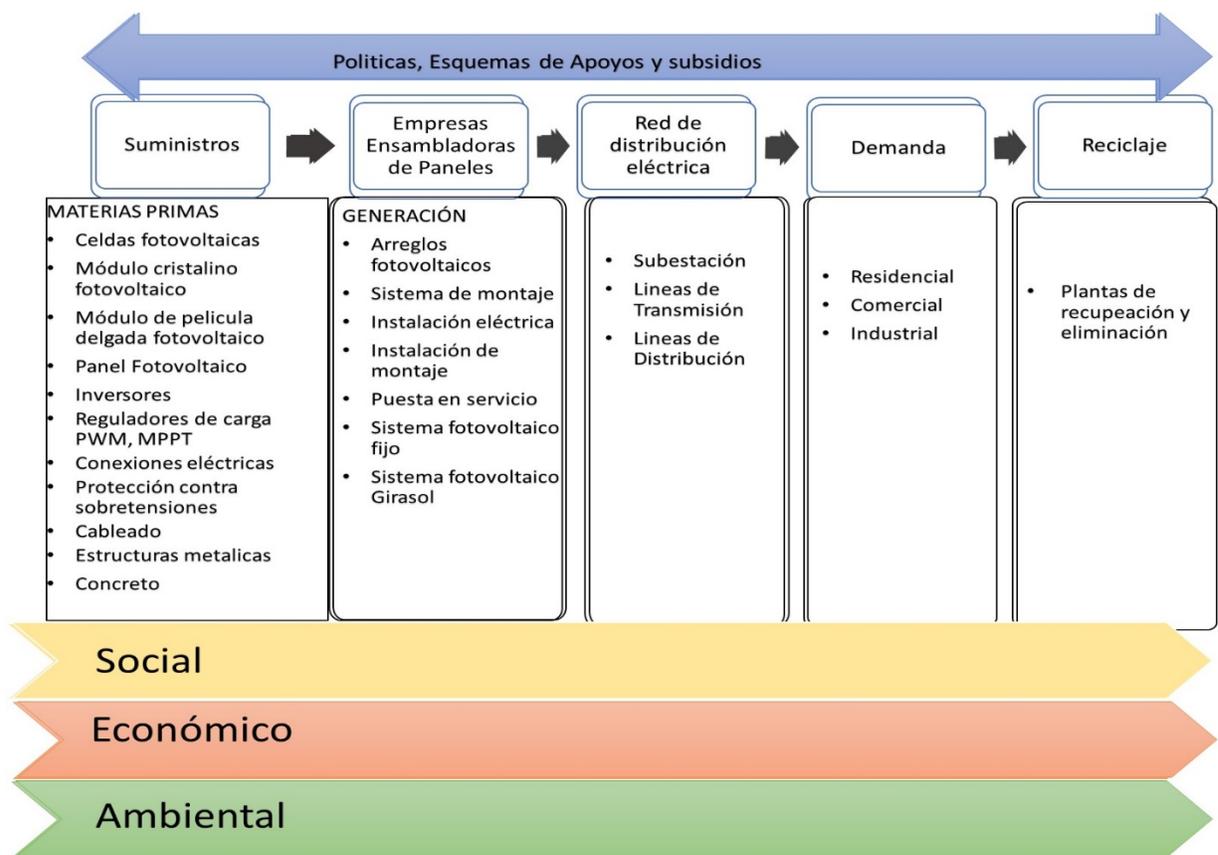


Figura 4.1 Configuración del Modelo de gestión de la Cadena de Suministro de la energía solar fotovoltaica propuesta a partir de la TBL

Fuente: Elaboración propia.

4.1 SUBCRITERIOS PARA EL DESARROLLO DE LA CADENA DE SUMINISTRO DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA

Esta sección se centra en la selección de los subcriterios que afectan al desarrollo de la cadena de suministro para la producción de energía fotovoltaica. La Tabla 4.1 muestra los subcriterios asociados a las dimensiones social, económica y medioambiental que se han seleccionado para evaluar la cadena de suministro sostenible de la energía fotovoltaica, con sus fuentes de datos y unidades de medida correspondientes.

Tabla 4.1 Subcriterios de la cadena de suministro sostenible en la selección de países, Social (A), Económico (B) y Ambiental (C)

	Subcriterio	Unidad	Descripción	Fuente
Social	Partes interesadas en la influencia	Lógica	Relación con proveedores, clientes, comunidades locales y ONGs.	Ahi y Searcy (2013); Carter y Rogers (2008); Fichera et al. (2018); Gonzalez de Durana et al. (2014); Govindan et al. (2013) y Volpe et al. (2017)
	Apoyo Gubernamental	Moneda del país o región	Gasto total en investigación sobre energía solar por año	Dusonchet y Telaretti (2015); IEA (2015b); Mota et al. (2015)
	Aceptabilidad Social	%	Se refiere a la capacidad de los reguladores, los responsables políticos y otras partes interesadas de elaborar políticas o marcos eficaces que creen y fomenten la aceptación de la comunidad y del mercado.	EA (2015b, 2016); Sovacool y LakshmiRatan (2012); Troldborg et al. (2014)
	Empleo y trabajo	Persona-año	Promedio de puestos de trabajo en el sector fotovoltaico por año.	EA (2015 b, c, 2016); You et al. (2012)

(A)

	Subcriterio	Unidad	Descripción	Fuente
Económico	Costo de capital	%	Tasa de retorno que el inversor/país espera obtener al considerar la mejor alternativa de inversión con un riesgo equivalente.	DIA-CORE Project (2016)
	Costos de abastecimiento	Moneda del país o región	Los costos de las materias primas y los productos comprados en el país y en el extranjero para la construcción de las instalaciones fotovoltaicas	Ageron et al. (2012); Freeman y Chen (2015); IRENA (2012); Lima-Junior y Carpinetti (2016); Liou et al. (2014); Wirth (2016); Zhang et al. (2014)
	Costo inicial	Moneda del país o región	Inversión total del proyecto de la central eléctrica.	Bazilian et al. (2013); IEA (2015b); Ramírez et al. (2017)
	Costos de operación y mantenimiento	Moneda del país o región/k W por año	Costos de explotación y mantenimiento, incluidos los costes de gestión de las instalaciones generales, los costes de inspección eléctrica, los costes de lavado de paneles y de control de la vegetación, los costos de	Campoccia et al. (2014); Dusonchet y Telaretti (2015); Honrubia-Escribano et al. (2018); Keating et al. (2015); Ramírez et al. (2017)

			mantenimiento de los inversores y los costes de seguros.	
	Tarifas e incentivos	Moneda del país o región/kWh por año	Pagos totales por kW de electricidad generada que recibe el productor con un precio fijo.	Dusonchet y Telaretti (2015); Honrubia-Escribano et al. (2018); IEA (2015b, 2016); Pyrgouetal. (2016);Ramírez et al. (2017)

(B)

	Subcriterio	Unidad	Descripción	Fuente
Ambiental	Rendimiento energético final	kWh/kWp	Irradiación solar media en el lugar del país	European Commission (2016)
	Cumplimiento de la cuota fotovoltaica de 2020	%	El fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables es un objetivo global de la Unión Europea para que el 20% del consumo de energía proceda de fuentes renovables en 2020.	Directive 2009/28/EC of the European Commission (Dehler et al., 2015; Eurostat, 2017; Fichera et al., 2018; Gonzalez de Durana et al., 2014; Volpe et al., 2017)
	Reducción de emisiones	%	Reducción de los principales gases de efecto invernadero emitidos gracias a la utilización de la energía fotovoltaica en lugar de la combustión de combustibles fósiles.	Dehler et al. (2015); Hosenuzzaman et al. (2015); Kucukvar et al. (2014); Troldborg et al. (2014)
	Disposición de políticas verdes	Lógica	Medidas de protección del medio ambiente y de la salud humana.	Bilimoria y Defrenne (2013); European Parliament (2012a); Goe y Gaustad (2014); Paiano (2015); Tao y Yu (2015)
	Tecnología disponible	Lógica	Las tecnologías y vías de reciclaje incluyen el reciclaje de residuos de fabricación, el reciclaje de materiales al final de su vida útil o de módulos usados, la refabricación y la reutilización.	Tao y Yu (2015)

(C)

Fuente: Elaboración propia

4.1.1 Subcriterio Social

La dimensión social de la sostenibilidad se refiere a los impactos que la organización tiene en el sistema social en el que opera (GRI, 2013). Los subcriterios sociales incluyen los impactos en la percepción pública, la creación de empleo y el apoyo gubernamental. Los principales indicadores sociales seleccionados para el desarrollo de la cadena de suministro fotovoltaica sostenible en esta investigación son la influencia de las partes interesadas, el apoyo gubernamental a la I+D, la aceptabilidad social y las oportunidades de empleo. Enfocándolo primero en un plano global y posteriormente ubicándolo al plano particular caso México. Por lo anterior, es importante identificar los Roadmap de fabricantes, proveedores, centros de investigación, licenciatura, maestría, y doctorado en Europa que le dan sustento a este punto, lo cual lo podemos ver en las figuras 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7 y 4.8.



Figura 4.2 Roadmap de  fabricantes,  proveedores,  centros de investigación,  licenciatura,  maestría, y  doctorado en Europa. Fuente elaboración propia.

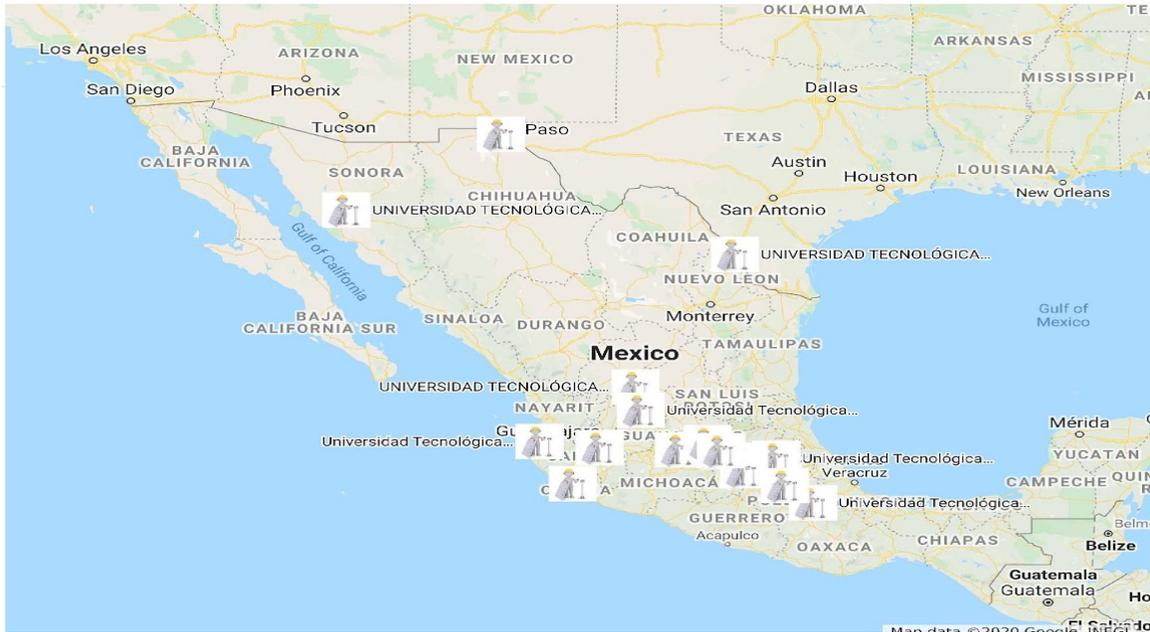


Figura 4.3 Roadmap de ubicación regional de los planteles donde imparten y ofrecen cursos, diplomados y especialidades

Fuente elaboración propia

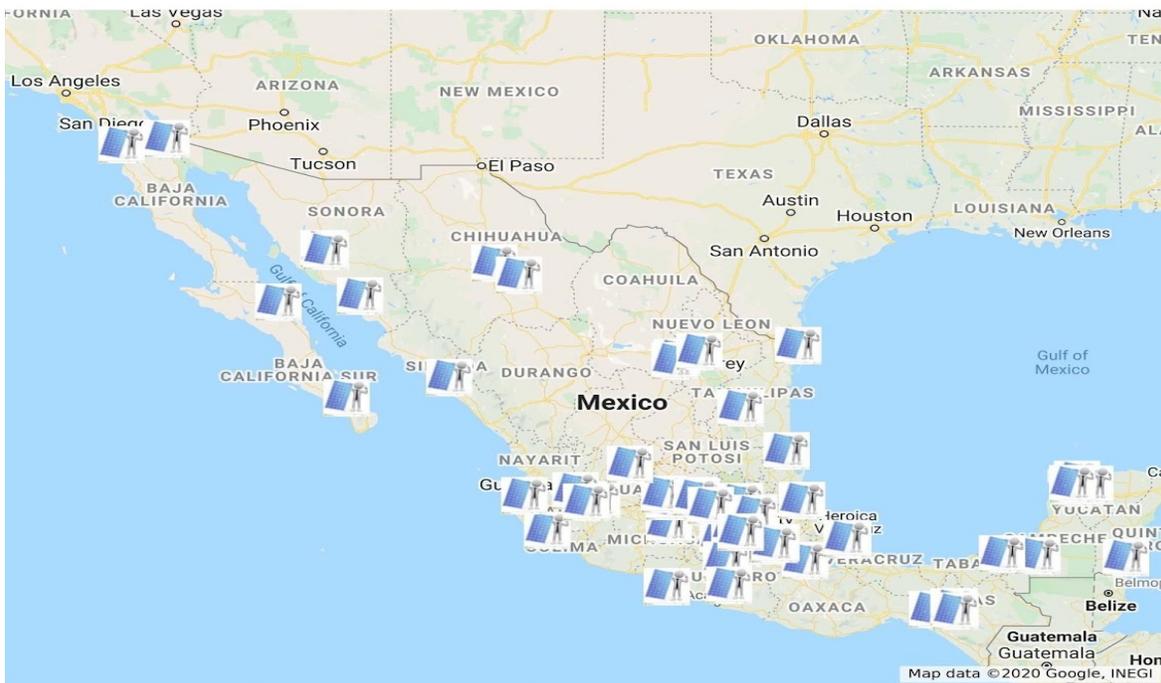


Figura 4.4 Roadmap de ubicación de instituciones que imparten la licenciatura en energías renovables en el país

Fuente elaboración propia



Figura 4.5 Roadmap de ubicación de instituciones que imparten la maestría en energías renovables en el país

Fuente elaboración propia



Figura 4.6 Roadmap de ubicación de instituciones que imparten el doctorado en energías renovables en el país

Fuente elaboración propia

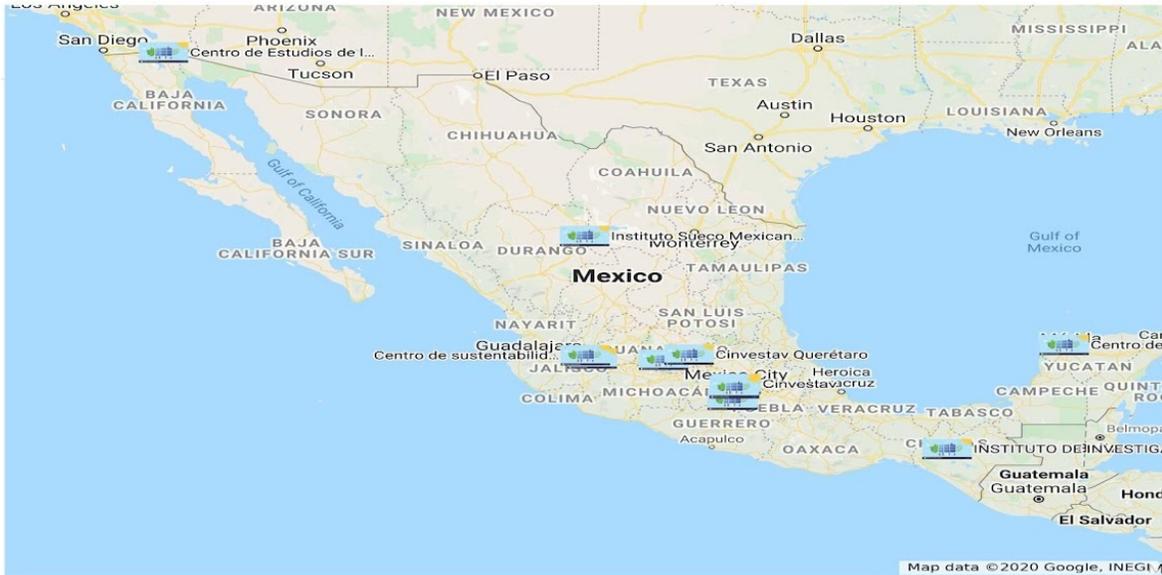


Figura 4.7 Roadmap de ubicación de los centros de investigación en energías renovables en el país

Fuente elaboración propia.



Figura 4.8 Roadmap de ubicación de  fabricantes,  comercializadoras,  instalación-venta,  mantenimiento,  asesoría-capacitación-consultoría-técnica,  asesoría-jurídica en paneles solares en el país

Fuente elaboración propia.

4.1.2 Subcriterio Económico

La dimensión económica del enfoque TBL es una cuestión clave, a partir de la rentabilidad económica de los proyectos de Energías Renovables, como el principal motor de la inmersión de las tecnologías energéticas en los mercados (Streimikiene et al., 2012). En la literatura, la dimensión económica se evalúa principalmente utilizando los indicadores que más directamente repercuten en la rentabilidad de las inversiones de los proyectos: el coste del capital, el abastecimiento y los costes iniciales, el costo de explotación y mantenimiento, las subvenciones gubernamentales y el rendimiento energético final (Barboza, 2015; Gao y You, 2017; Govindan et al., 2013; Ramírez et al., 2017).

4.1.3 Subcriterio Ambiental

En este subcriterio se analizan los principales indicadores de la dimensión medioambiental para el desarrollo de la cadena de suministro de energía fotovoltaica. La literatura sobre la cadena de suministro sostenible es amplia y diversa y hay una gran cantidad de trabajos que estudian y evalúan sus impactos ambientales (Mota et al., 2015; Zhang et al., 2014). Más allá de los métodos disponibles, se acepta que el análisis del impacto ambiental debe tener en cuenta toda la vida de la cadena de suministro, desde la extracción de recursos, pasando por la producción, el uso, la eliminación y reciclaje (Comisión Europea, 2012). A partir de la revisión de la literatura, se seleccionaron subcriterios que son necesarios para evaluar el impacto ambiental de la cadena de suministro de la energía fotovoltaica, los cuales son los siguientes: energía consumida para realizar paneles, agua, materiales utilizados, reducción de emisiones de CO₂ y residuos, nuevos productos y servicios, políticas verdes (ej. Bonos de carbono), impacto en el sistema de vida y diseños operacionales.

Para el desarrollo de la cadena de suministro sostenible en el sector de las energías renovables, se plantea de acuerdo a la información recolectada para el caso México, siguiendo el marco de trabajo de toma de decisiones multicriterio basado en los principios TBL, todo ello para establecer los eslabones de la cadena existente o

faltantes en México a partir de los modelos establecidos en los países con mayor desarrollo en la energía renovable fotovoltaica, los cuales se describen en los siguientes puntos.

4.2 ESLABONES DE LA CADENA DE SUMINISTRO DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA

4.2.1 Eslabón de Suministro (Materias primas)

El primer eslabón lo denominamos “suministros”, el cual contempla todas las materias primas desde las celdas fotovoltaicas, módulos de paneles solares, además de todos los componentes y equipos eléctricos tales como inversores, reguladores de carga PWM (Pulse Width Modulation) y MPPT (Maximum Power Point Tracking), protecciones sobre contracorriente, cableado, así como todo lo relacionado al montaje de estructuras y fijación de los paneles solares fotovoltaicos.

4.2.2 Celdas fotovoltaica-Fabricantes

Existen en el mercado mexicano tres tipos de paneles solares fotovoltaicos, las cuales son a partir de silicio, en las que está compuesta por celdas tipo del tipo monocristalino, policristalino y amorfos-películas delgadas, que de acuerdo con su estructura es de más pureza la primera respecto a la segunda, además de que es más económica. Por su parte las amorfas; son las que tienen una aplicación donde no se requiere una gran eficiencia. Se encontró que en México existen siete fabricantes de celdas fotovoltaicas, pero hay un predominio en el mercado de marcas de importación, principalmente de origen es China. En cuanto a las estructuras, existen metálicas y de concreto en el mercado, las cuales tienen una gran variedad que depende del lugar y la zona donde se necesitan instalar los paneles solares.

Tabla 4.2 fabricantes de células fotovoltaicas en México

No.	Empresa	Ubicación	Dirección	Características
1	SAYA ENERGY	AGUASCALIENTES	Moscatel #305, Paso Blanco, Aguascalientes, Ags.	Fabricante de paneles solares. Es una empresa mexicana de innovación tecnológica, especializada en fabricar paneles solares de alta calidad, con certificación internacional. Tiene más de 16 años de experiencia en el rubro de la energía solar (desde 2006). Cuenta con una planta de producción que funciona en su totalidad con energía producida con sus paneles solares, además de realizar la producción de más de 96MW de energía limpia. Es proveedor de paneles solares monocristalinos, policristalinos y bifaciales, con diferentes potencias. Brinda servicios de consultoría, venta e instalación de paneles solares.
2	SMART POWER	CDMX	Bosque de Radiatas #32, Bosques de las Lomas, 05120 Ciudad de México, CDMX	Fábrica de paneles solares. Es una empresa dedicada a desarrollar y fabricar productos de energía solar. Tiene más de 12 años de trayectoria en el rubro. Es proveedor de paneles solares de hasta 500 Watts (más eficiente y que ocupa menos espacio por Wat), para cualquier dimensión de proyecto. Brinda servicios de asesoría e instalación de paneles solares (llevado a cabo por personal altamente capacitado y con muchos años de experiencia). Realiza venta de paneles solares por mayoreo a distribuidores.
3	SYDEMEX, S.A. DE C.V.	COLIMA	Av. Benito Juárez #358b Altos, Juan José Ríos 1, 28984 Villa de Álvarez, Colima	Fábrica de paneles solares. Es una empresa pionera en la fabricación de paneles solares en la ciudad de Colima e innovadora en la generación de nuevas tecnologías relacionadas. Ofrece productos de calidad, desde los insumos utilizados en la elaboración de los paneles solares que cuentan con las certificaciones necesarias para otorgar el mejor rendimiento a lo largo de su vida útil, la cual asciende hasta 25 años con un rendimiento estable. También ofrece capacitación a través de cursos de sistemas fotovoltaicos.
4	SOLARSO L - PRODUCCIONES SOLARES DE MÉXICO S.A. DE C.V.	MERIDA YUCATAN	Calle 73 #218E Int.1, Polígono Chuburna, 97302 Merida, Yuc.	Fábrica de paneles solares. Es una empresa cuyas actividades incluyen la fabricación de paneles solares con rendimiento en condiciones de poca luz (nublado, amaneceres y atardeceres). Es proveedor de paneles solares con capacidades de: 220W, 460W y 550W. También cuenta con la capacidad de fabricar paneles a la medida. Cuenta con un programa de integradores para distribuidores de paneles solares.

5	Saecsa	PUEBLA	Av. México-Puebla #1098, Nave 3, San Juan Cuautlancingo, 72700 San Francisco Ocotlán, Pue.	<p>Fabricante de módulos fotovoltaicos. Es una empresa Mexicana especializada en diseño, desarrollo, fabricación y comercialización de Tecnología Solar. Tiene más de 27 años de trayectoria en el rubro (desde 1995). Posee una línea de producción de módulos fotovoltaicos con más de 10 certificaciones nacionales e internacionales, cuya capacidad de producción es de 60,000 módulos, equivalentes a 11,400 KWp, con los que se pueden generar 20,805 KW/h anuales. Cuenta con la capacidad para desarrollar cualquier proyecto a pequeña, mediana y gran escala en diferentes sectores como el Gubernamental, Residencial, Industrial, Agropecuario y el Comercial. Ofrece la gama más completa de equipos y sistemas Solares con uno de los portafolios más diversificados del mercado, que incluye más de 700 productos en las líneas: Termo Solar, Electro Solar y Arquitectura Solar.</p>
6	SOLAREVER TECNOLOGÍA DE AMÉRICA, SOC. ANO M. DE CAP. VAR.	QUERETARO	Carretera Colima - Manzanillo, Kilometro 38.3, 28934 Bayardo, Col. Mexico	<p>Fabricante de paneles solares. Es una empresa de clase mundial especializada en desarrollo, fabricación y distribución de paneles solares, desde proyectos residenciales hasta granjas solares. Tiene más de 10 años de trayectoria en el rubro (desde 2012). Posee tres plantas de producción cuya infraestructura y capacidad le permite atender el mercado local y exportar a: Canadá, Estados Unidos y América Latina. Cuenta con Certificaciones: FIDE, ISO, CSA, UL y HECHO EN MÉXICO. Es proveedor de los elementos necesarios para desarrollar un proyecto de sistema fotovoltaico, desde paneles solares, inversores, caja de protección, estructuras de aluminio, conectores mc4 y accesorios. También ofrece capacitación continua.</p>
7	Erdm Solar, S.A. de C.V.	VERACRUZ	Mangana #1, El Rodeo, 95765 San Andrés Tuxtla, Veracruz	<p>Fábrica de paneles solares. Es una empresa especializada en la fabricación de módulos solares de alta calidad, con células monocristalinas que van desde los 160 vatios hasta los 550 vatios. Tiene más de 19 años de trayectoria en el mercado (desde 2003). Su experiencia incluye más de 10.000 instalaciones exitosas en México y Latinoamérica. Cuenta con una planta de producción ubicada en San Andrés Tuxtla, Veracruz, donde utiliza tecnología y equipos de fabricación alemana. Es proveedor de paneles solares hechos en México. También desarrolla soluciones optimizadas y personalizables tanto para propietarios de viviendas como para instalaciones comerciales. Brinda soporte técnico especializado y otorga 35 años de garantía para sus módulos ERDM SOLAR.</p>

Fuente Elaboración propia

4.2.3 Paneles solares fotovoltaico y accesorios

En los últimos años ha ocurrido en el mundo un extraordinario avance en la tecnología de los paneles solares fotovoltaicos, lo cual ha ocasionado una reducción en el costo de las inversiones para generar electricidad por este medio. Esto abre una gran oportunidad para que México, al igual que otros países, baje el precio y mejore la composición de la forma de generación de dicha energía, reduzca la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera, y especialmente en nuestro caso, para rediseñar la política nacional de subsidios al consumo de electricidad. Hasta hace poco tiempo existía en México un esquema de subsidios casi generalizados en el consumo de electricidad, a usuarios residenciales, al sector agrícola, servicios, pequeña y gran empresa, entre otros. Recientemente esto ha cambiado para concentrar ahora la mayoría de estos subsidios en el sector residencial y en el agropecuario, e incluso para tratar de focalizarlos en los sectores más marginados del país (Cepal 2021-2022), lo cual todavía no ocurre. Estos subsidios al consumo son altamente regresivos ya que favorecen en mayor proporción a la población no-pobre de México, además de que tienen efectos nocivos para la economía (Revollo, 2019) y el medio ambiente.

Existen una gran variedad de paneles solares, de los cuales es importante conocer si se quiere instalar en vivienda o en la industria. Sin embargo, los paneles solares sin dudas son la mejor fuente de energía renovable en la actualidad. Otra forma de diferenciar los paneles solares es según la tecnología con la que estos lleven a cabo su trabajo. Entre estas vamos a poder encontrar los tipos de paneles mostrados en la tabla 4.3 y figura 4.9.

Tabla 4.3 Tipos de células fotovoltaicas existentes a nivel comercial.

Tipo	Monocristalinas	Policristalinas	Amorfas (película delgada)
Costo	De 5 a 7 por ciento más caras que las policristalinas	De 5 a 7 por ciento más baratas que las monocristalinas	precio elevado por poca producción
Aprovechamiento de la energía	20 % a 22%	14% a un 16%	5% a 7%
Pureza del silicio	Sin impurezas	Con algunas impurezas	Bruto (material sin pulir)
Usos	Sistemas fotovoltaicos	Sistemas fotovoltaicos	Calculadoras y equipos que no requieran mucha energía
Ventajas	Superan en eficiencia y rendimiento. Este tipo de celdas tienen el nivel de eficiencia más alto del mercado, alcanzando el 20%. Son ideales para ser instaladas en lugares donde la exposición al sol no es muy alta. En cuanto a espacio, también son excelentes para ser usados en pequeñas áreas.	La principal ventaja que tienen los paneles solares policristalinos, es que su precio es menor al de las células monocristalinas, y precisamente, gracias a su bajo costo, son excelentes para instalaciones a pequeña escala. Sirven perfectamente para satisfacer la demanda de energía eléctrica de una casa o un negocio pequeño.	Son celdas de menor costo. Pueden ser flexibles si se fabrican sobre una superficie de este tipo. En muchos de los casos son elaboradas con materiales resistentes a las sombras o circuitos múltiples. Son ideales para lugares donde no cuentan con fuertes rayos solares en todo momento, sino que hay una constante nubosidad. Tiene una alta resistencia a los calentamientos a diferencia de los policristalinos y monocristalinos.
Desventajas	A corto plazo (la inversión inicial) son algo más caros. se caracterizan por su alto precio, ya que requieren de mayor cantidad de silicio que las placas policristalinas. Además, debido al tipo de corte que se realiza, los módulos monocristalinos generan mayores pérdidas de material.	Las placas policristalinas o multicristalinas -como también se le conocen- tienen un rendimiento de 16%, cuatro puntos porcentuales menos en comparación a las células monocristalinas, debido principalmente a la menor cantidad de silicio que tienen. El calor puede reducir su tiempo de vida útil que su rendimiento sea menor	Tienen un rendimiento del 6 al 8%

Fuente: Elaboración propia

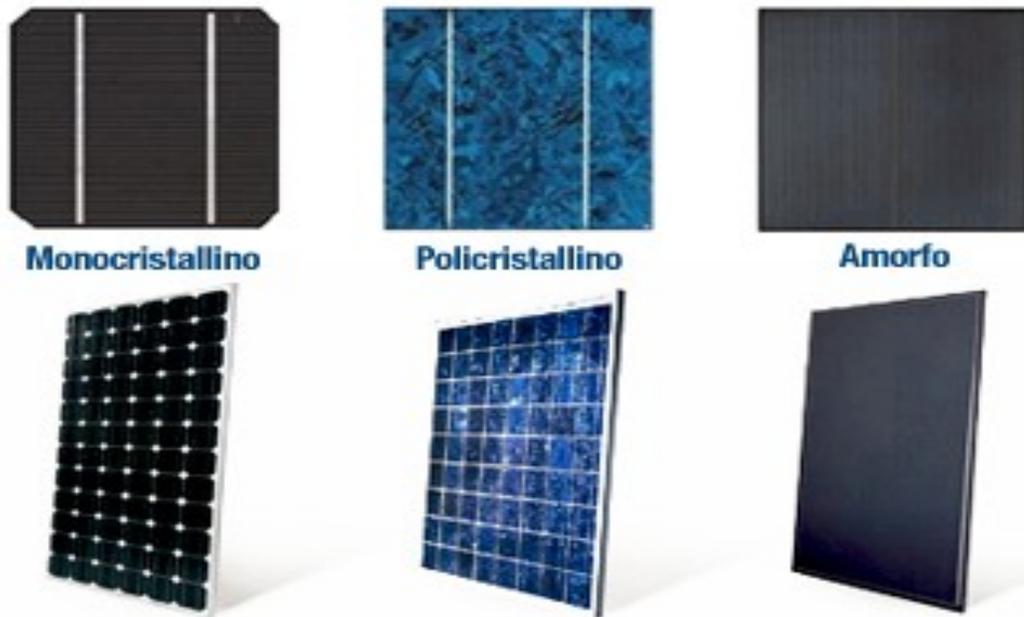


Figura 4.9 tipos de células fotovoltaicas de acuerdo a su composición química
 Fuente información tomada de Sunwise (2020)

4.2.3.1 Tipo Monocristalinos

Estos son los paneles que más usan las personas hoy en día, siendo que su instalación es muy sencilla y se puede colocar en cualquier tejado. Una de estas razones por las muchas personas la prefieren es porque poseen una apariencia bastante estética.

En los paneles solares monocristalinos las células son de un color negro, lo que les da un buen toque estético. Si no se sabe cómo identificarlos, hay que fijarse en la forma de las obleas de silicio, estas son encontradas fácilmente en cuadrados, pero con las esquinas cortadas.

4.2.3.2 Tipo Policristalinos

A estos tipos de paneles solares también se les puede llamar multicristalinos y son bastante populares. Útil en presupuesto limitado, comúnmente, este tipo de paneles solares están hechos de células de silicio policristalino, por otro lado, estas no tendrán las esquinas cortadas. Con este panel solar no podrás ver los espacios en blanco en la parte frontal que si ves en los paneles monocristalinos.

4.2.3.3 Tipo Películas delgadas (Amorfas)

Estos tipos de paneles no son tan habituales como los anteriores, su funcionamiento es el mismo que los paneles cristalinos, pero su fabricación es diferente tal como: su proceso de fabricación es sencillo y de fácil automatización, se necesita de poco material activo, lo que reduce el gasto energético y del costo y se tiene la facilidad de realizar módulos flexibles y con óptima eficiencia cuántica en un amplio rango espectral (Solarama 2019).

Por otra parte, las placas fotovoltaicas se constituyen de un número de células solares que van conectadas en serie y en función de ese número se pueden agrupar como se muestra en la tabla 4.4.

Tabla 4.4 Numero de células ya sean monocristalinas, policristalinas, o amorfas.

No. de células solares	Potencia (W)	Tamaño	Aplicación
36	150W	1.6 x 0.9 metros	Para baterías de 12V
60 y 120 media células	320W y 340W	1.7 x 1.0 metros	Para autoconsumo en viviendas e industria
72 y 144 medias células	385W y 415W	2.0 x 1.0 metros	Para autoconsumo y para cargar baterías de 24V en industria, granjas solares y viviendas.

Fuente: Elaboración propia

4.2.4 Cableado y tubería

El cableado eléctrico es un componente esencial y de los puntos clave para la correcta instalación de los paneles solares, su función principal es la de conducir la electricidad y así tener un óptimo rendimiento. Los cables hechos de cobre tienen mayor resistencia. Además, otro elemento a considerar es el aislamiento que cubre el alambre para protegerlo del calor, humedad, luz ultravioleta o químicos. Por consiguiente, existen diferentes tipos de aislamiento que cubre el alambre o conductor para paneles solares, en la siguiente tabla se ilustra (solarama, 2019).

Tabla 4.5 Tipos de aislamientos más usados para el cableado

Tipo de aislamiento	Usos
THHN	Se utiliza comúnmente en lugares secos, interiores.
THW, THWN, TW	Puede utilizarse en interiores o para aplicaciones húmedas al aire libre
UF	Puede utilizarse en zonas húmedas o subterráneas
El Cable PV, USE-2 cables RHW-2	Pueden usarse en condiciones húmedas al aire libre donde son resistentes a los rayos del sol.

Fuente: Elaboración propia

Por otro se requiere de una tubería para alojar los cables de la instalación fotovoltaica la más utilizada en México es de tipo galvanizado pared gruesa, además los diámetros que se manejan son $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$ y 1", todo esto es con base a la NOM 001.

4.2.5 Protecciones contra sobre tensión

Las protecciones funcionan para eliminar posibles fallas en situaciones climatológicas de los paneles solares. Se requiere de fusibles para protección contra fallas a tierra, supresor de picos es otro componente, está diseñado para proteger los equipos eléctricos, su función es disminuir la tensión por si existiera picos de energía eléctrica. Por otra parte, en la protección en corriente alterna se utilizan interruptores termomagnéticos, que son los encargados de proteger a los equipos y como modo de desconexión. Por consiguiente, también se debe de instalar un sistema de tierra, la cual consiste en conectar los soportes de los paneles solares a una varilla conocida como copperweld que se introduce en la tierra, para ayudar a reducir la carga que genera una tormenta eléctrica o un rayo y así evitar que se dañe el panel solar (DOF, 2012).

4.2.6 Estructuras metálicas

Como ya se ha estado mencionando, otro de los elementos principales para el montaje de paneles solares son los soportes que sostienen las estructuras, los soportes se fabrican de material rígido como es el acero inoxidable, aluminio y concreto, las cuales proveen una estabilidad y una fijación a la superficie donde se

van anclar, con esto aseguramos evitar cualquier movimiento indeseado que pueda afectar a la instalación Existen varios tipos de soportes que de acuerdo a la función de la instalación son utilizados para ello, en la tabla 4.6 se puede ver.

Tabla 4.6 Tipos de soportes utilizados en los paneles solares.

Tipos	Características
Fijos	<ul style="list-style-type: none"> • Son aquellos donde se requiere que los paneles solares queden en una posición plana. • Se pueden colocar en paredes, suelos e incluso en fachadas de viviendas.
Móviles	<ul style="list-style-type: none"> • Estos son los más complejos, debido a que permiten el movimiento de la instalación para seguir los rayos del sol. • Estos son los que permiten un rendimiento mayor ya que permiten obtener una mejor captación de la energía fotovoltaica.
Coplanares	<ul style="list-style-type: none"> • Son aquellos que usan para paneles solares paralelos a su superficie de apoyo.
Inclinados	<ul style="list-style-type: none"> • Estos son los que nos permite fijar la estructura con la inclinación deseada para así obtener un aprovechamiento máximo de los rayos solares

Fuente: Elaboración propia

Con el mismo orden de ideas se habla de las estructuras, dichas estructuras se fabrican de acero inoxidable y de aluminio, la figura 10 muestra los materiales con que se fabrican estas estructuras para paneles solares y sus características y en la figura 11 se aprecian los tipos de soportes.



Figura 4.10 Materiales con que se fabrican las estructuras para la colocación de módulos fotovoltaicos.
 Fuente: Tomado de Iluminet (2017)



Figura 4.11 Tipos de soportes y estructuras
 Fuente: Tomado de Iluminet (2017)

4.2.7 Inversores

Otro de los componentes que son primordiales en los accesorios son los inversores solares. Los inversores son los que convierten la corriente continua recibida por los paneles fotovoltaicos en corriente alterna, es la que podemos usar en el hogar,

almacenar en baterías o interconectar a la red eléctrica. Existen en el mercado una variedad de inversores en México estos de acuerdo al sector a utilizar (tabla 4.7).

Tabla 4.7 Tipos de inversores según el sector

Sector	Tipo de inversor
Residencial	String o en cadena, microinversores y optimizadores de potencia.
Industrial	Microinversores, optimizadores de potencia, MLPEs (Module Level Power Electronics)

Fuente: Elaboración propia.

4.3 GENERACIÓN

El segundo eslabón lo denominamos “generación”, el cual contempla todo lo que se refiere a arreglos, sistemas de montaje, instalaciones eléctricas y de montaje, su puesta en servicio, así como los diferentes sistemas fotovoltaicos fijos y girasol.

4.3.1 Arreglos fotovoltaicos

Los arreglos fotovoltaicos que en México se están usando son en paralelo, serie y mixtos, con respecto a los arreglos en paralelo están conectados uno junto al otro; positivo con positivo y negativo con negativo de cada panel solar, esto implica que se garantice bajos voltajes y altas corrientes, este arreglo se está utilizando con paneles de película delgada, para sistemas pequeños, básicos y generalmente con controladores PWM.

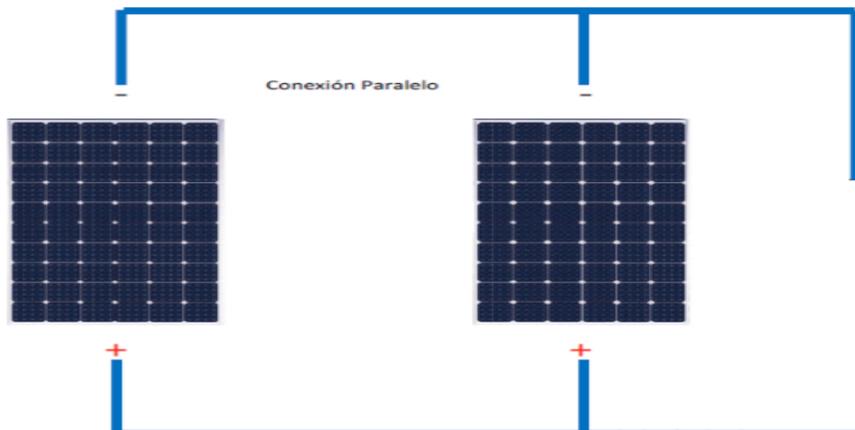


Figura 4.12 Arreglo fotovoltaico en paralelo

Fuente: Tomado de Instalaciones y Eficiencia Energética (2017)

El arreglo fotovoltaico de paneles en serie funciona conectando cada uno de los paneles al siguiente panel, el arreglo es simple, el cable positivo del panel se conecta al negativo del otro panel, dichas conexiones se realizan con conexiones rápidas gracias a conectores MC4, se conectan sucesivamente macho y hembra hasta obtener la cantidad prediseñada. Con este tipo de conexión se consigue tener el aumento de voltaje del arreglo, mientras la corriente se mantiene.

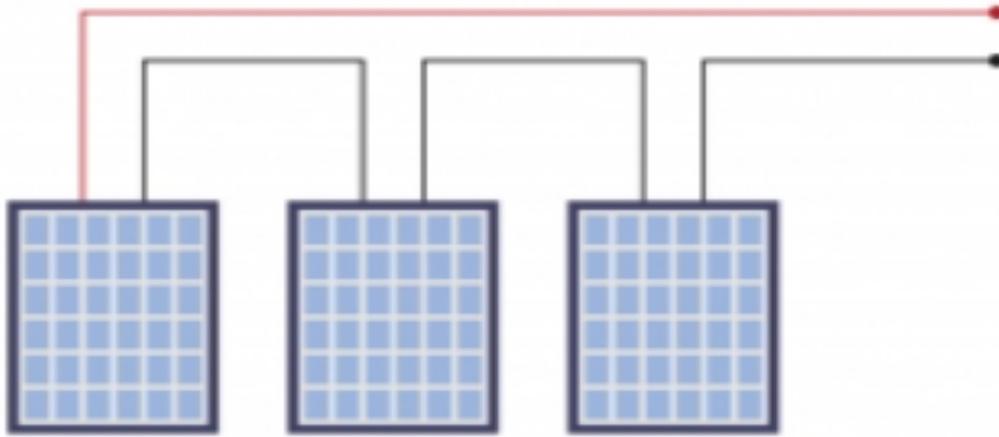


Figura 4.13 Arreglo Fotovoltaico en serie

Fuente: Tomado de Instalaciones y Eficiencia Energética (2017)

Por otra parte, los arreglos mixtos se utilizan de acuerdo a los cálculos que realizan el personal especializado con el fin de optimizar la instalación, normalmente se aplica para alcanzar el aumento del voltaje, así como la corriente, dependiendo de la configuración, dicho de otra manera, en este método se tienen diferentes conjuntos de paneles solares conectados en serie con otros grupos conectados en paralelo.

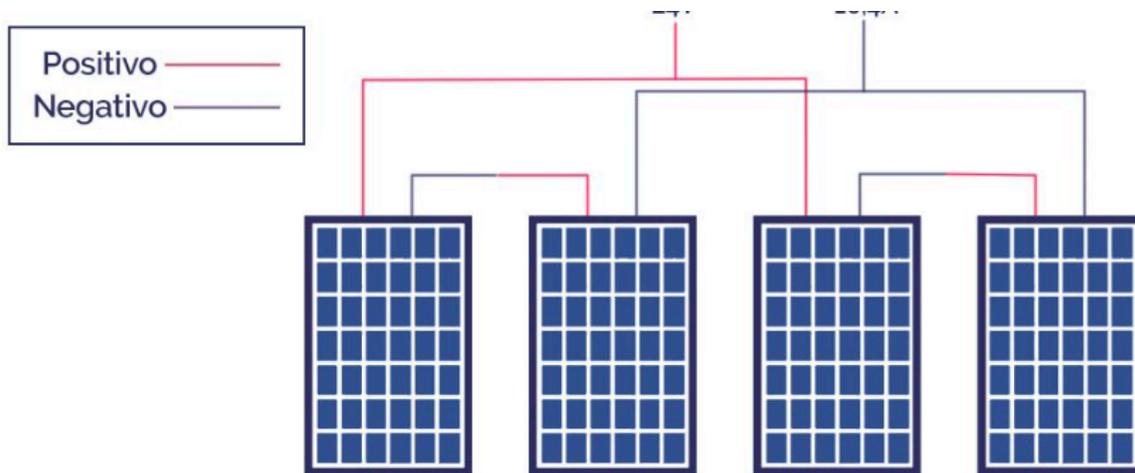


Figura 4.14 Arreglo fotovoltaico mixto

Fuente: Tomado de Instalaciones y Eficiencia Energética (2017)

4.3.2 Sistemas de montaje

Los sistemas de montaje que en México se manejan se explican en los siguientes puntos, lo cual depende de donde se realiza la instalación, con el fin de evitar fallas o pérdidas.

4.3.2.1 Estructura sobre suelo

Estos son utilizados en sistemas donde se requiere colocar una gran cantidad de módulos fotovoltaicos, su ventaja principal es su fácil montaje.

Dentro de este montaje sobre suelo existen 3 tipos de que son (Solarama 2019):

- Los de estructura de concreto, los cuales tienen alta resistencia a los factores climáticos y durabilidad en ambientes extremos, es utilizado únicamente para suelos y tejas planas.
- Reforzada para cubiertas, está formada por triángulos de aluminio y ángulos cruzados, con lo que se tiene un refuerzo extra a la instalación.
- Soporte de cubierta plana, estos cuentan con zapatas y contrapesos que evita el movimiento de la estructura en situaciones de viento.



Figura 4.15 Estructuras sobre suelo

Fuente: tomada de Solarama (2019)

4.3.2.2 Estructuras sobre tejado inclinado

Este sistema es similar al de sobre suelo, con la ventaja de que se puede anclar la estructura fotovoltaica sin que se perfore la los demás, existen 3 tipos (Solarama 2019):

- Estructura coplanar para tejado, es instalada entre una teja superior y la inferior, esto para poder evitar la caída del agua y las filtraciones.
- Estructura coplanar para tejado inclinado, en esta se requiere de taladrar en la teja superior, para así colocar una varilla o poste y posteriormente sellar con arandelas de neopreno.
- Estructura coplanar para tejado inclinado, en esta se utiliza un perfil en forma de “L”, que sirve para sujeción a las tejas con base metálica.



Figura 4.16 Estructuras sobre tejado inclinado

Fuente: tomada de Solarama (2019)

4.3.2.3 Estructura sobre techo

En caso de que se requiera realizar una instalación sobre techo se tiene varias opciones de montaje (Solarama 2019):

- Montaje directo, en este sistema permite que la instalación de la estructura sea directamente sobre la cubierta, además impide el paso de aire alrededor del panel.
- Montaje sobre estructura sobresaliente, es colocada sobre techo donde se hará la instalación ya se atornillada o con base de pernos.
- Montaje sobre estructura en plano paralelo, esta estructura permite que los paneles solares queden por encima del techo, lo cual permite el flujo de aire.
- Montaje con lastre, con este sistema no se requiere de perforaciones, sino que utiliza contrapesos para que exista movimientos.



Figura 4.17 estructuras sobre techo.

Fuente: tomada de Solarama (2019)

Existen otros tipos de estructuras, que son en vertical, los cuales se describen en la tabla 4.8.

Tabla 4.8 Estructuras sobre poste y sobre pared

Estructura	Características
Mástil o poste	Estos son utilizados para arreglos de paneles pequeños que son colocados en avenidas, plazas, hospitales entre otras.
Sobre pared	Este tipo ya se está utilizando en México, sobre todo en fachadas de viviendas o edificios orientados al sur.
Individual	Estos son utilizados para espacio sencillos tales como en terrazas, o tejados planos con posición horizontal obteniendo un óptimo desempeño.
Triángulo inclinado y coplanar	Este tipo no son tan comunes en México aún.
Elevada	Este tipo está diseñado para ofrecer una inclinación y orientación adecuada, con esto se obtiene un mayor desempeño de los paneles solares.

Fuente: Elaboración propia

4.3.3 Instalación eléctrica

Para poder realizar la instalación eléctrica de los paneles solares, en México se rige bajo la norma oficial mexicana conocida como NOM 001, la cual esta publicada en el Diario Oficial de la Federación (DOF 2018).

Se tiene también el artículo 690 “sistemas fotovoltaicos”, que ayuda a regular el uso de las conexiones eléctricas, el cual se refiere arreglos del circuito eléctrico, inversores, instalación del equipo, la normativa a seguir y donde los usuarios pueden estar conectados con otras fuentes de producción de energía eléctrica de manera autónoma o interconectados (CFE 2018).

Además, el artículo 705 relacionado con “fuentes de generación de energía eléctrica interconectadas”, se refiere a una instalación bidireccional con CFE, con la aprobación para el uso proyectado, es decir, los equipos también deben cumplir con la certificación NMX-J-643-ANCE.

4.3.4 Instalación de montaje

En este punto se encontró que el personal capacitado, en este caso, un ingeniero se encarga del diseño y dimensionamiento del sistema fotovoltaico: tipo de techo, ángulo del mismo, estudio de sombras. También se toma en cuenta el clima, radiación y orientación que es determinante para obtener un buen desempeño del sistema como se mostró en la figura 2.7.

El proceso de instalación se realiza de acuerdo a la selección de estructura y montaje mencionado en el apartado 4.3.2., donde los usos de los inversores son necesarios para la conversión de energía de corriente continua a corriente alterna.

4.3.5 Puesta en servicio

En esta parte se pone a prueba el sistema de paneles fotovoltaicos junto con su instalación, para así garantizar el buen funcionamiento y poder evitar en un futuro fallas. Hay que verificar el cableado eléctrico, el montaje de toda la estructura,

además de su fijación, todo debe cumplir con la normatividad correspondiente. Cabe señalar que se realizan pruebas de seguridad y arranque para que su funcionamiento este en orden. Es responsabilidad del proveedor de los equipos.

4.3.6 Sistema fotovoltaico fijo

El sistema fotovoltaico fijo como su nombre lo indica, no tiene partes móviles, es el más utilizado en México, simplemente se ajusta la estructura a un ángulo de inclinación fija que en México va de 30° a 40°, para así obtener un rendimiento óptimo de los paneles solares. En la siguiente tabla se puede ver el estándar de los ángulos de inclinación de los paneles solares, con base a la latitud del lugar donde se ubica la zona donde se instalarán el sistema.

Tabla 4.9 Estándares de inclinación

Angulo de Inclinación fijo	Latitud de ubicación (grados)
0° a 15°	15°
15° a 25°	15°
25° a 30°	Latitud de +5°
30° a 35°	Latitud de +10°
35° a 40°	Latitud de +15°
40° o más	Latitud de +20°

Fuente: Elaboración propia.

4.3.7 Sistema fotovoltaico girasol

Este sistema también es llamado como seguidor, la cual mueve a los paneles fotovoltaicos montados en la estructura móvil, se va posicionando de modo que tenga una perpendicularidad a los rayos del sol. Por otra parte, el sistema de seguimiento está constituido por una serie de elementos complejos, para poder determinar la ubicación del sol en relación con el objeto del cual se está alineando, dichos elementos es una computadora que procese los algoritmos que van a permitir hacer el rastreo del sol con la ayuda de sensores que son los que le dan la información a la computadora sobre la ubicación para obtener una óptima capacidad de absorción de luz. En México encontramos en el mercado dos tipos de este sistema seguidor: el de un eje y el de dos ejes (figura 4.18).



Figura 4.18 sistemas fotovoltaicos fijos y seguidor.

Fuente: Tomada de solarama (2019)

4.4 RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA

El tercer eslabón lo denominamos “distribución”, contempla todo lo relacionado con la red de distribución eléctrica de los sistemas fotovoltaicos.

En los últimos años México ha tenido un crecimiento en la capacidad instalada de la energía fotovoltaica, principalmente en la generación distribuida. Se cuenta hasta la fecha con 63 centrales eléctricas en operación, donde el grueso de los parques o granjas fotovoltaicas se encuentra en: Sonora con 8 parques fotovoltaicos con aportación de 774MW, Coahuila de Zaragoza con 4 parques y 949MW, Chihuahua con 6 parques de 336MW, Baja California y Baja California Sur que en conjunto suman 6 con 101MW y Guanajuato con 4 y 299MW. Por otra parte, otros estados que aportan en la generación de energía fotovoltaica son: Sinaloa, Nayarit, Jalisco, Colima, Zacatecas, Michoacán, San Luis Potosí, Querétaro, México DF, Morelos y Guerrero por mencionar algunas. Los apartados que se mencionarán a continuación están regidos por la empresa productiva del estado, para el caso de México es CFE.

4.4.1. Subestación

Las subestaciones eléctricas en sistemas fotovoltaicos están formadas por varios elementos, que son utilizados para manipular y controlar la energía eléctrica generada, la cual circula por la red eléctrica con el propósito de llevarla a los usuarios con ciertas características que estos requieran. En México, existen tres tipos de subestaciones primordialmente, las cuales son: subestaciones variadoras de voltaje o tensión, subestaciones de maniobra y subestaciones mixtas, cabe señalar que estos tipos se utilizan tanto para las líneas de transmisión como de distribución.

4.4.2. Líneas de Transmisión

En México los niveles de voltaje utilizados de las líneas de Transmisión son en: 400kV con una subtransmisión de 115kV y de 230kV con una subtransmisión de 69kV.

4.4.3 Líneas de Distribución

En México los niveles de voltaje utilizados de las líneas de Distribución son de: 34.5kV con una utilización de 440V 3 ϕ , también 23kV con una utilización de 220V 3 ϕ y de 13.8kV con una utilización de 127V 1 ϕ .

4.5 DEMANDA

El cuarto eslabón lo denominamos “demanda”, el cual contempla todo lo relativo a la demanda en el sector residencial, comercial e industrial con base a los esquemas de interconexión.

En los últimos años, se ha observado una mayor importancia en fomentar la transición a energías renovables para las industrias, comercios y casas de México. Anteriormente, la producción y distribución de energía eléctrica solo estaba autorizada por CFE y los sistemas de generación de energía fotovoltaica estaban únicamente permitidos para autoconsumo en lugares donde no llegaba la red eléctrica.

Sin embargo, la ley de servicio público de energía eléctrica permite el uso de sistemas de paneles solares interconectados a la red eléctrica para auto consumo en cualquier lugar del país. pero no se tenía la posibilidad de vender el excedente en caso de que un sistema fotovoltaico inyectara continuamente más energía de la que el usuario necesitaba y que no se consumiera en los periodos subsecuentes.

A partir del 2007 esto cambió y hoy en día es posible generar energía eléctrica en generación distribuida con sistemas fotovoltaicos y poderla vender a la CFE en tres diferentes esquemas de contraprestación. Por consiguiente, la generación distribuida da lugar a las instalaciones donde una empresa o persona puede generar energía eléctrica limpia en su propio inmueble para ser consumida, con un tamaño menor a 500kWp de capacidad y que están interconectadas a la red eléctrica.

De la misma forma, la Ley de la Industria Eléctrica establece que los generadores distribuidos no requieren permiso ante la Comisión Reguladora de Energía (CRE), mientras cumplan con los contratos de interconexión y cogeneración con la CFE. Por otro lado, existen tres tipos de interconexión que la CRE emitió a partir del 2017 para poder operar bajo el esquema de generación distribuida, que en los siguientes puntos se describen.

4.5.1 El esquema de medición neta de energía (Net Metering)

Es el más usado por el sector industrial, comercial y residencial, los cuales tienen instalado un sistema fotovoltaico. De acuerdo con la CRE, el 99.8% de las instalaciones de estos sistemas funcionan bajo este esquema o por Medición Neta de Energía.

La CRE define Net Metering como una contraprestación que considera los flujos de energía eléctrica recibidos y entregados desde y hacia las Redes Generales de Distribución (RGD), compensando dichos flujos de energía eléctrica entre sí durante el periodo de facturación (enlight 2020).

Una de las razones por las cuales el esquema de Net Metering es el más usado, es porque no es necesario de un conocimiento avanzado por parte del usuario sobre el mercado eléctrico. Es un esquema muy sencillo en el que solo se paga la diferencia entre la energía que se inyecta y lo consumido de la red.

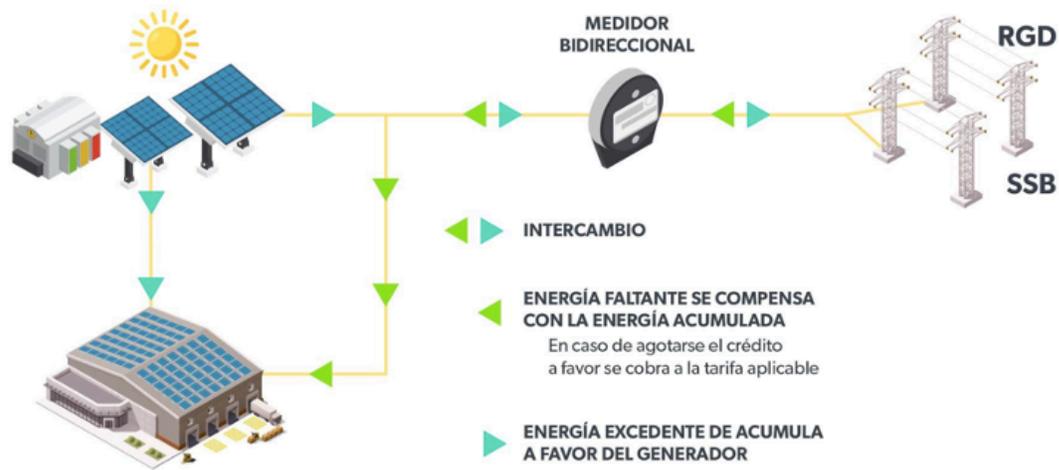


Figura 4.19 Esquema Medición neta de energía Net Metering

Fuente: tomando de (CRE 2020)

4.5.2 Net Billing

Este esquema propuesto por la CRE es otra forma de interconectar un sistema de paneles solares a la red, el cual, a diferencia del Net Metering, la energía inyectada a la red no se toma como un saldo a favor.

En el Net Billing o Facturación Neta, el usuario con un sistema fotovoltaico que inyecta la energía de su sistema, la vende de manera independiente a lo que consume de la red eléctrica, o sea, no se compensa como en el Net Metering.

Al ser operaciones independientes, el usuario con el esquema Net Billing requiere dos medidores diferentes: Uno para registrar la energía inyectada a la red, donde podrá facturarle a la CFE por la energía entregada y otro para medir la electricidad que consume su inmueble de la red eléctrica.

En cada periodo de facturación del esquema Net Billing, la energía que inyectó el sistema fotovoltaico a la red eléctrica se paga al Precio Marginal Local en el nodo correspondiente al punto de interconexión. Por otro lado, la energía que el usuario consume de la red eléctrica se cobra por la compañía de luz, al precio de la tarifa de su inmueble (enlight 2020).



Figura 4.20 Esquema Net Billing o Facturación Neta

Fuente: tomando de (CRE 2020)

4.5.3. Venta total de energía

En este esquema de Venta Total de Energía, toda la energía generada por el sistema de paneles de energía solar se vende en su totalidad a la compañía de luz, es decir, no se consume nada en el sitio donde se instaló. por consiguiente, este esquema es muy poco popular en la generación distribuida.



Figura 4.21 Esquema venta total de energía

Fuente: tomando de (CRE 2020)

Por otra parte, la comisión reguladora de energía tiene la flexibilidad de que un usuario cambie de un esquema de interconexión a otro, después de haber cumplido un año con el contrato de contraprestación actual, siempre y cuando no existan adeudos con la CFE.

4.6 RECICLAJE

El quinto eslabón lo denominamos “recuperación y eliminación”, el cual contempla todas las etapas.

Si la vida útil de un panel solar suele ser de 25 años, tenemos que en México a partir de esta década una gran cantidad van a comenzar a desecharse. Esto provocaría un enorme desafío, que es a la vez una inmensa oportunidad de negocio para el reciclaje de esos paneles solares. Hasta al año 2020 no se hablaba de reciclar paneles solares en México o el mundo, dado que no se había alcanzado un volumen de eliminación que justificará una instalación de reciclaje.

4.6.1 Plantas de Recuperación y eliminación

Sin embargo, hay métodos para evitar el problema de la contaminación, pues como ya se mencionó anteriormente, los paneles fotovoltaicos se pueden reciclar prácticamente en su totalidad porque están fabricados con vidrio y aluminio, dos materiales que son fáciles de reutilizar, ya que no están clasificados como residuos no peligrosos. Según el programa de sistemas Fotovoltaicos de la Agencia Internacional de Energía Renovable (IRENA), en el año 2050 los paneles fotovoltaicos podrían alcanzar la cifra de 78 megatoneladas en todo el planeta. Sin embargo, mediante su reciclado y su recuperación, se podrían producir de nuevo 2 mil millones de paneles. Hasta el momento, se utilizan dos procesos para el reciclado de placas solares: térmico y mecánico (Suncore, 2020).

4.6.2 Reciclado térmico

La técnica que se utiliza en su mayoría para reciclar paneles solares en el mundo se basa en el tratamiento térmico, consiste en quemar los plásticos para separar las células del vidrio, esto comprende aproximadamente el 80% del panel. Después se llevan a cabo diferentes procesos químicos para eliminar la capa antirreflejante si la hubiese, y separar los contactos metálicos. Además, en este paso se separan las obleas de silicio las cuales se pueden reutilizar incluso hasta cuatro veces (Suncore 2020).

4.6.3 Reciclado mecánico

La segunda técnica de reciclaje utilizada es la mecánica, la cual consiste en moler todo el panel despejado de su marco para después ser trabajado a base de procesos químicos, se tritura para extraer los materiales y luego se procesan para obtener materiales secundarios (Suncore, 2020).

Por otra parte, aunque en México no tengamos una gran planta de tratamiento y reciclaje fotovoltaico, no quiere decir que tengamos que dejar los paneles solares en la calle o almacenados cuando ya no se necesiten.

CONCLUSIONES

Hasta el momento, las energías renovables y sobre todo la energía solar fotovoltaica ha demostrado ser una alternativa real y competitiva para el abastecimiento de energía eléctrica.

El sector de la energía solar fotovoltaica en países como Alemania, China, Estados Unidos, Francia y España mantienen una perspectiva de crecimiento sostenido para los próximos años y son referencia en gestión y mejores prácticas.

Los resultados a los que se llegó de acuerdo a la revisión y análisis de artículos, revistas, periódicos, y entrevistas con el personal que se encuentra trabajando de las distintas empresas que se dedican al rubro de la energía solar fotovoltaica en la parte de materias primas y generación; así como el análisis del medio ambiente, es que los eslabones de la cadena de suministro están desarticulados, por lo que se desarrolló una metodología basada en las mejores prácticas de los países líderes en el rubro, la cual toma como base 3 variables que sustentan la cadena de suministro de la energía fotovoltaica: Social, Económica y ambiental. Esta propuesta configura un modelo que puede permitir una mejor articulación y gestión de la cadena de suministro de la energía solar fotovoltaica en México.

La variable social tiene influencia en las partes interesadas, donde el soporte gubernamental es esencial para el desarrollo de la investigación y desarrollo, empleos, oportunidades laborales y aceptabilidad social.

La variable económica contempla los costos de abastecimiento del capital de inversión, costos iniciales, costos de operación y mantenimiento, tarifas, proyecto ejecutivo y rendimiento energético.

La variable ambiental considera la reducción de las emisiones de efecto invernadero, los objetivos internacionales a que se compromete México, programas de vigilancia, mantenimiento preventivo de los equipos y paneles solares, la

conservación del suelo y agua, y una vez terminado el ciclo de vida del proyecto, usar la tecnología adecuada para la eliminación o reciclaje de los materiales, así como las políticas de eliminación.

Como estas tecnologías impactan en el medio ambiente y los medios locales, es importante que exista un marco regulatorio que incluyan políticas económicas-sociales-ambientales, que ofrezcan certeza jurídica a los generadores, que den beneficios a los propietarios de tierras, comunidades o localidades involucradas, y que se cuide el medio ambiente porque se modifica el entorno natural y existe acceso y uso de los recursos naturales.

México recientemente está asumiendo las ventajas que le da su posición geográfica para aprovechar la energía solar, tendencia de los países líderes y compromisos asumidos en distintos foros, donde existen retos que tiene que afrontar como: la reforma energética, asumir las mejores prácticas correspondientes desarrolladas por otros países, las limitaciones en la red eléctrica donde se deben hacer importantes inversiones, precios de la energía eléctrica competitiva y hacer atractivo los proyectos de inversión en comparación con otras tecnologías.

En México se necesita como siguiente paso un análisis de las variables involucradas en los eslabones presentados en la cadena propuesta y su logística de vinculación, ya que se debe optimizar cada una de ellas para una mejora en su gestión y como consecuencia mejor toma de decisiones en el proceso de generación de energía eléctrica vía tecnología fotovoltaica. Todo esto se deberá a las adaptar a las políticas energéticas del país mundial que están en constante cambio y que serán regulados por el gobierno federal y adoptar las mejores prácticas a nivel.

REFERENCIAS

- Acciona, 2020. Energías Renovables. Recuperado de: <https://www.acciona.com/es/energias-renovables>
- Altomonte, H. (2017). *Las energías renovables no convencionales en la matriz de generación eléctrica: tres estudios de caso*. Buenos Aires, Argentina: Santiago CEPAL.
- AMDEE (2020). Mapas eólicos. Recuperado de: <https://amdee.org/mapas-eolicos.html>
- ANTALA SPECIAL CHEMICALS (2019). Conoce las ventajas y desventajas de la energía eólica. Recuperado de: <https://www.antala.es/ventajas-y-desventajas-energia-eolica/>
- ANUIES. (Octubre de 2020). Anuario de Educación Superior – nivel superior 2019 – 2020. México.
- appa renovables (2022). Renovables en el mundo y en Europa. Recuperado de: <https://www.appa.es/energias-renovables/renovables-en-el-mundo-y-en-europa/>
- Arriols, E. (enero de 2022). Ventajas y desventajas de la energía eólica. Recuperado de: <https://www.ecologiaverde.com/ventajas-y-desventajas-de-la-energia-eolica-1085.html>
- ASOLMEX 2021. México puede convertirse en la séptima potencia de energía solar en el mundo. Recuperado de: <https://asolmex.org/>
- Avril, S., Mansilla, C., Busson, M., Lemaire, T. (2012). Photovoltaic energy policy: Financial estimation and performance comparison of the public support in five representative countries. *Energy Policy*, 51, 244–258.
- Barboza, C. (2015). Towards a Renewable Energy Decision Making Model. *Procedia Computer Science* 44, 568–577.
- Barrero, A. (24 de agosto de 2022). Alemania produjo el año pasado más electricidad solar que Italia, Portugal y España juntas. Energías renovables. Recuperado de: <https://www.energias->

renovables.com/fotovoltaica/alemania-produjo-el-ano-pasado-mas-electricidad-20220526

- Bloomberg NFC (2019). Emerging Markets Outlook 2019. Energy transition in the world's fastest growing economies. Recuperado de: <https://africa-energy-portal.org/sites/default/files/2019-12/climatescope-2019-report-en.pdf>
- BloombergNEF (2018). *Emerging Markets Outlook 2018*. Climatescope. Recuperado de: <https://global-climatescope.org/downloads/climatescope-2018-report-en.pdf>
- BloombergNEF (2019). *Emerging Markets Outlook 2019*. Climatescope. Recuperado de: <https://global-climatescope.org/downloads/climatescope-2019-report-en.pdf>
- BloombergNEF (2020). *Emerging Markets Outlook 2020*. Climatescope. Recuperado de: <https://global-climatescope.org/downloads/climatescope-2020-report-en.pdf>
- BP p. l. c. (2019). BP Statistical Review of World Energy 2019. Recuperado de: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-full-report.pdf>
- Bridgewater, A. (2009). *Energías alternativas. Handbook (Primera Edición ed.)*. Madrid, España: Paraninfo.
- Campos, T. (2018). Dónde está, dónde estuvo y dónde estará México con la generación de electricidad por medio de energías renovables <https://www.xataka.com.mx/otros-1/donde-esta-donde-estuvo-y-donde-estara-mexico-con-la-generacion-de-luz-por-medio-de-energias-renovables>
- Capó, J., Tomás, J. y Expósito, M. (2007). La Gestión del Conocimiento en la Cadena de Suministro. Análisis de la Influencia del Contexto Organizativo. *La Gestión del Conocimiento en la Información Tecnológica*, 18 (1), 127-135.
- Celdares (12 de junio de 2022). ¿Cuáles son los estados con mayor radiación solar en México? Recuperado de: <https://celdares.mx/cuales-son-los-estados-con-mayor-radiacion-solar-en-mexico/>

- CENACE (2018). Programa de Ampliación y Modernización de la Red Nacional Transmisión y Redes Generales de Distribución del Mercado Eléctrico Mayorista. PRODESEN 2019-2033. Recuperado de: <https://www.cenace.gob.mx/Docs/Planeacion/ProgramaRNT/Programa%20de%20Ampliaci%C3%B3n%20y%20Modernizaci%C3%B3n%20de%20la%20RNT%20y%20RGD%202019%20-%202033.pdf>
- Cepal (2021-2022). Perspectivas de la agricultura y el desarrollo rural en las américas. Recuperado de:
- Conermex (2020). Sistema de montaje Conermex SMC. Recuperado de: <https://www.conermex.com.mx/manuales/Manual-SMC-R1.pdf>.
- Correa, A. y Gómez, R. (2009). Tecnologías de la información en la cadena de suministros, *Dyna Colombia*, 76 (157), 37-48.
- De Luca, A., Vázquez García, V., Bose, P., & Velázquez Gutierrez, M. (2018). *Género, Energía y Sustentabilidad. Aproximaciones desde la Academia*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Deloitte (2018). Panorama 2018 del sector de energías renovables en México. Recuperado de: <https://www2.deloitte.com/mx/es/pages/dnoticias/articles/panorama-energias-renovables-en-mexico.html>
- Díaz, J. (2012). La bioenergía garantiza 15 veces más empleo que los combustibles fósiles. *Energía*, 38 (233), 27-29.
- Díaz, J. (2015). *Sistemas de energías renovables (Primera ed., Vol. I)*. Madrid, España: Paraninfo.
- Díaz, J. y Ruiz, J. E. (2015). *Electrotecnia*. España: Ediciones Paraninfo, S. A.
- Díaz, L. (2007). Gestión del conocimiento y del capital intelectual: una forma de migrar hacia empresas innovadoras, productivas y competitivas. *Revista Escuela de Administración de Negocios*, 61, 39-67.
- DOF (7 de febrero de 2020). STRATEGIA DE TRANSICIÓN PARA PROMOVER EL USO DE TECNOLOGÍAS Y COMBUSTIBLES MÁS LIMPIOS. Ciudad de México: Secretaría de energía. Recuperado de:

https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5585823&fecha=07/02/2020&print=true

EL-Emam, K., Goldenson, D. and Mccurley, J. (2001) Modeling the Likelihood of Software Process Improvement: An Exploratory Study. *Empirical Software Engineering*, 6, 207-229.

Elkington, J. (1997). Cannibals with forks. The triple bottom line of 21st century (April), 1–16.

Energía Hoy (10 de febrero de 2020). México está preparado para el desarrollo de proyectos de energía limpia. Recuperado de: <https://energiahoy.com/2020/02/10/mexico-esta-preparado-para-el-desarrollo-de-proyectos-de-energia-limpia/>

Energías renovables (17 de febrero, 2022a). China, EEUU, Australia, India y España, las cinco naciones del mundo con el mayor potencial de crecimiento en renovables. Recuperado de: <https://www.energias-renovables.com/fotovoltaica/china-eeuu-australia-india-y-espana-las-20220217>

Energías renovables (22 de agosto, 2022b). Estos son los diez países con más Energías renovables (3 de octubre, 2022c). 2021, el año en el que España instaló más energía solar que nunca antes. Recuperado de: <https://www.energias-renovables.com/fotovoltaica/2021-el-ano-en-el-que-espana-20221003>

Enlight (2018). Energía solar en México: evolución y perspectivas a futuro. Recuperado de: <https://residencial.enlight.mx/energia-solar-en-mexico/>

Enlight (2020). Net metering y net billing: esquemas de interconexión en México. Recuperado de:

Enlight (2022). Panorama 2022 de la energía solar en México y el mundo. Recuperado de: <https://www.enlight.mx/blog/panorama-2022-de-la-energia-solar-en-mexico-y-el-mundo>

Enlight. Mexico. (2018). Energía solar en México: evolución y perspectivas a futuro. Recuperado de: <https://residencial.enlight.mx/energia-solar-en-mexico/>

- European Commission (2012). The International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook. Tech. rep.
- European Commission (2017). Strategic energy technologies information system. Tech. rep. Recuperado de: [https://setis.ec.europa.eu/\(accessed2017.01.03\)](https://setis.ec.europa.eu/(accessed2017.01.03))
- European Commission (2019). Paquete de energía limpia para todos los europeos. Recuperado de: https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-strategy/clean-energy-all-europeans_en
- European Commission (2020). National action plans and annual progress reports. Recuperado de: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficiency-targets-directive-and-rules/national-action-plans-and-annual-progress-reports_en
- FER (2017). Autoconsumo. Lecciones aprendidas en la Unión Europea. Madrid: Fundación Energías Renovables.
- Foster, S. y Elzinga, D. (2019). El papel de los combustibles fósiles en un sistema energético sostenible. Naciones Unidas, Crónica ONU. Recuperado de: <https://www.un.org/es/chronicle/article/el-papel-de-los-combustibles-fosiles-en-un-sistema-energetico-sostenible>
- Francois, J. (2017). La ley de transición energética francesa para el crecimiento verde y la Programación Plurianual de Energía 2016-2023. Real Instituto Elcano, España. Recuperado de: <https://media.realinstitutoelcano.org/wp-content/uploads/2017/03/ari18-2017-collin-ley-transicion-energetica-francia-crecimiento-verde.pdf>
- Gao, J., You, F. (2017). Design and optimization of shale gas energy systems: Overview, research challenges, and future directions. *Computers & Chemical Engineering*, 106, 699–718.
- gíz (2018). Nuevas oportunidades de inversión: El auge del sector solar en México. Contexto, Perspectivas y Tendencias. Recuperado de: https://energypedia.info/images/8/83/GIZ_Guia_Inversion_Solar_Esp.pdf
- Gobierno de la República, México (2015). COMPROMISOS DE MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO PARA EL PERIODO 2020-

2030. Recuperado de:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/162974/2015_indc_esp.pdf
- Gómez, A., Dopazo, C. y Fueyo, N. (2016). The “cost of not doing” energy planning: The Spanish energy bubble, *Energy*, 101, 434-446.
- Gómez, D. y Sanz, J. (2019). LA POLÍTICA ENERGÉTICA EN ESTADOS UNIDOS EN LA ACTUALIDAD. *Boletín Económico del ICE*, 85-98. Recuperado de:
http://www.iberglobal.com/files/2019-1/usa_energia_bice.pdf,
- González, V. J. (2009). *Energías Renovables*. Barcelona. España: Editorial Reverté S.A.
- Govindan, K., Khodaverdi, R., Jafarian, A. (2013). A fuzzy multi criteria approach for measuring sustainability performance of a supplier based on triple bottom line approach. *Journal of Cleaner Production*, 47, 345–354.
- GRI (2013). G4 sustainability reporting guidelines. Global Reporting Initiative, Amsterdam, Netherlands.
- Grundstein M. (2008). Assessing the enterprise’s knowledge management maturity level, *Int. J. Knowledge and Learning*, 4 (5), 415-426.
- Haley, U. and Schuler, D. (2011). Government Policy and Firm Strategy in the Solar Photovoltaic Industry. *CALIFORNIA MANAGEMENT REVIEW*, 54 (1), 17-38.
- Hassini, E., Surti, C., Searcy, C. (2012). A literature review and a case study of sustainable supply chains with a focus on metrics. *International Journal of Production Economics*, 140 (1), 69–82.
- Honrubia, A., Ramírez, F. J., Gómez, E., García, P. M., Ruiz, M. J., Parra, G. (2018). Influence of solar technology in the economic performance of pv power plants in Europe. a comprehensive analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 488–501.
- Horvath L. (2001). Collaboration: the key to value creation in supply chain management. *Supply Chain Management: An International Journal*, 6 (5), 205-207
https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/47208/1/CEPAL-FAO21-22_es.pdf.

<https://www.enlight.mx/blog/conoce-los-esquemas-de-interconexion-que-existen-en-mexico>.

ICEX (2022). Energía solar en Alemania. Recuperado de: [file:///C:/Users/Oscar%20M%20Arango/Downloads/DOC2022913801%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Oscar%20M%20Arango/Downloads/DOC2022913801%20(1).pdf)

IEA (2022). Special Report on Solar PV Global Supply Chains. France: IEA Publications.

Iluminet (2017). El montaje de los sistemas fotovoltaicos también debe estar certificado y garantizado por 25 años. Recuperado de: <https://www.iluminet.com/vida-util-sistemas-montaje-fotovoltaico-solar/>.

IMP (2017). Reporte de Inteligencia Tecnológica. Energía Solar Fotovoltaica. Fondo Sectorial CONACYT-Secretaría de Energía-Sustentabilidad Energética. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/280281/IT_Solar_FV_12DI_C17.pdf

Instalaciones y Eficiencia Energética (2017). Paneles solares fotovoltaicos. Recuperado de: <http://instalacionesyeficienciaenergetica.com/paneles-solares-fotovoltaicos/>.

International Energy Agency (2022). Special Report on Solar PV Global Supply Chains. Recuperado de: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/d2ee601d-6b1a-4cd2-a0e8-db02dc64332c/SpecialReportonSolarPVGlobalSupplyChains.pdf>

IRENA (2019). El futuro de la energía solar fotovoltaica. Despliegue, inversión, tecnología, integración en la red y aspectos socioeconómicos. Agencia Internacional de Energías Renovables. Abu Dabi: Agencia Internacional de Energías Renovables

IRENA (2019). Renewable Energy Capacity Statistics 2019 [En línea]. Recuperado de: https://www.irena.org//media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Mar/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2019.pdf

- IRENA, (2020). Trends in Renewable Energy. Recuperado de: <https://public.tableau.com/views/IRENARETimeSeries/Charts?:embed=y&:showVizHome=no&publish=yes&:toolbar=no>
- Jensen, W. (2018). Nueva Era de la Energía en México. Berlín: Ministerio Federal de Economía y Energía de Alemania (BMWi) - Secretaría de Energía de México (SENER)
- Keskinocak, P. and Tayur, S. (2001). Quantitative Analysis for Internet Enabled Supply Chains. *Interfaces*, 31 (2), 70-89.
- López, M. E. (2010). El tratado de Kyoto y la generación y uso de energía solar y eólica, como estrategia de reducción de gases de efecto invernadero: caso Baja California, México. Coloquio Nacional de Estudios sobre Competitividad, (Mexicali, B.C.), 129-150.
- López, S. (2009). Utilización de energías renovables en México: Hacia una transición de la generación de energía eléctrica. [Tesis de licenciatura]. Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de: https://repositorio.unam.mx/contenidos/utilizacion-de-energias-renovables-en-mexico-hacia-una-transicion-en-la-generacion-de-energia-electrica-3495009?c=Vj0kkM&d=false&q=*&i=9&v=1&t=search_0&as=0
- López, V. D., Alcalá, C. y Moreno, L. R. (2012). La cadena de suministro de la energía solar. *Conciencia Tecnológica*, 43, 18-23.
- López, V., Alcalá, C. y Moreno, L. (2012). La Cadena de Suministro de la Energía Solar, *Conciencia Tecnológica*, 43, 18-23.
- Mártil, I. (2019). Energía solar fotovoltaica: panorama mundial. Recuperado de: <https://blogs.cdecomunicacion.es/ignacio/2019/11/25/energia-fotovoltaica-panorama-mundial/>
- Martínez, G., Silva, F., Altamirano, M., y Hernández, J. A. (2021). Apuntes de la energía fotovoltaica en México. *3C Tecnología. Glosas de innovación aplicadas a la pyme*, 10(1), 17-31. <https://doi.org/10.17993/3ctecno/2021.v10n1e37.17-31>

- Martínez, I. G.; Weber, B.; Durán García, M. D.; Díaz Sánchez, L. (2016). Aprovechamiento de la Energía Solar Fotovoltaica en el Estado de México. Toluca: UAEM-IEECC
- Mccormack, K., Bronzo, M. and Valadares, M. (2008). Supply chain maturity and performance in Brazil. *Supply Chain Management: An International Journal*, 13 (4), 272 – 282.
- Méndez, Y. (2016). Reflexiones sobre Energía Eólica. Conferencia Instituto Tecnológico de Delicias. Recuperado de: file:///C:/Users/Oscar%20M%20Arango/Downloads/2016_09_23_P_Eolica_Y_MendezShort.pdf
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2021). *Hoja de ruta del autoconsumo*. España: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico
- Montaño, O., Corona, J., Hernández, E. (2012). Una perspectiva de los modelos de madurez para el análisis de las capacidades de las organizaciones que integran la cadena de suministro. En: Retos de las ciencias administrativas desde las economías emergentes: Evolución de sociedades. Ed. Fonseca M. (1-21).
- Montecinos, S. (2018). *Energías Renovables: Escenario Actual y Perspectivas futuras*. Chile: Editorial Universidad de la Sierra.
- Morales, A. C., Pérez, M., Pérez, J. & De León, S. (2017), Energías renovables y el hidrógeno: un par prometedor en la transición energética de México. *Investigación y Ciencia*, 25 (70), 92-101.
- Mota, B., Gomes, M. I., Carvalho, A., Barbosa-Povoa, A. P. (2015). Towards supply chain sustainability: Economic, environmental and social design and planning. *Journal of Cleaner Production*, 105, 14–27.
- Muñoa, A. (2018). Aportación al análisis del marco regulador del autoconsumo en España, mediante el estudio comparado de distintas soluciones reguladoras. Tesis de licenciatura, Universidad Politécnica de Cataluña España. Recuperado de: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/168666?show=full>

- Naciones Unidas (2022), ¿Qué son las energías renovables? Recuperado de: <https://www.un.org › what-is-renewable-energy>
- Navarro, A. (2021). *Historia de la Energía*. Córdoba, España: Editorial Guadalmazan.
- OISE (s.f). Bioenergía en México. <https://www.oise.mx/biomasa>
- OLADE (2018). *Panorama Energético de América Latina y el Caribe*. Quito, Ecuador: Índigo Express. Recuperado de: <https://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/old0416.pdf>
- Oviedo, J., Badii, M., Guillen, A. Lugo, O. (2015), Historia y uso de las energías renovables. *International Journal of Good Conscience*, 10 (1), 1-18. Recuperado de: [http://www.spentamexico.org/v10-n1/A1.10\(1\)1-18.pdf](http://www.spentamexico.org/v10-n1/A1.10(1)1-18.pdf)
- Parlamento Europeo (2022). La energía renovable. Fichas temáticas sobre la Unión Europea. Parlamento Europeo. Recuperado de: <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/es/sheet/70/la-energia-renovable>
- Perales, T. (2012a). *Prácticas de energía eólica*. Portugal: Publindustria.
- Perales, T. (2012b). *El Universo de las Energías Renovables*. España: Marcombo S.A.
- Pires S, Carretero L. (2007). *Gestión de la Cadena de Suministro*. Madrid: Ediciones Mc Graw Hill.
- Poluha R. (2007) *Application of the SCOR model in supply chain management*. USA.: Ediciones Cambria Press.
- Porter M. (2002). *Ventaja Competitiva*. México: Ediciones CECSA
- Prahalad, C. and Ramaswamy, V. (2004). Co-creation experiences: The next practice in value creation. *Journal of Interactive Marketing*, 18 (3), 5-14.
- PROMÉXICO, GIZ y IER (2017). *LA INDUSTRIA SOLAR FOTOVOLTAICA Y PV magazine* (24 de Agosto, 2022). Resumen de la industria fotovoltaica China: El racionamiento de energía afecta a la producción de módulos solares. Recuperado de: <https://www.pv-magazine.es/2022/08/24/resumen-de-la-industria-fotovoltaica-china-el-rationamiento-de-energia-afecta-a-la-produccion-de-modulos->

[solares/#:~:text=NEA%20dijo%20que%20las%20inversiones,con%20respecto%20al%20a%C3%B1o%20anterior.](#)

Pyrgou, A., Kyllili, A., Fokaides, P. A. (Aug-2016). The future of the Feed-in Tariff (FiT) scheme in Europe: The case of photovoltaics. *Energy Policy*, 95, 94–102.

Ramírez, F. J., Honrubia, A., Gómez, E., Pham, D. T. (2017). Combining feed-in tariffs and net-metering schemes to balance development in adoption of photovoltaic energy: Comparative economic assessment and policy implications for european countries. *Energy Policy*, 102, 440 – 452.

Red Eléctrica (2022). a potencia instalada de solar fotovoltaica en España aumenta casi un 30% en 2021. Recuperado de: <https://www.ree.es/es/sala-de-prensa/actualidad/nota-de-prensa/2022/03/potencia-instalada-solar-fotovoltaica-en-espana-aumenta-casi-un-30-por-ciento-en-2021>

REN 21 (2018). RENEWABLES 2018. GLOBAL STATUS REPORT. Recuperado de: https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2018_Full-Report_English.pdf

REN21 (2020). RENEWABLES 2020. GLOBAL STATUS REPORT. Recuperado de: <https://www.ren21.net/gsr-2020/>

Renewables (2022). Global Status Report. REN21.

STROM-REPORT (2022). PHOTOVOLTAIK IN DEUTSCHLAND. Recuperado de: <https://strom-report.de/photovoltaik/>

Reuters Staff (2017). Pemex descubre yacimiento que podría tener reservas de 350 mln brl petróleo equivalente. Recuperado de: <https://lta.reuters.com/article/businessNews/idLTAKBN1D32EK-OUSLB>

Revollo, D., Rodríguez, L. y Morales, J. (2019). Impacto de los subsidios al agua en los hogares pobres de la Ciudad de México. *Gestión y política pública*, 28 (1), 39-67. Recuperado de: <https://www.scielo.org.mx/pdf/gpp/v28n1/1405-1079-gpp-28-01-39.pdf>.

Rincón, E. (1999). Estado del arte de la investigación en energía solar en México. México: Fundación ICA. Recuperado de: <https://anes.org.mx/wp->

[content/uploads/2019/04/Edo_Arte_Investigacion_Energia_Renovable_Solar_Mexico.pdf](https://www.idbinvest.org/es/blog/energia/cuatro-paises-que-lideran-en-energia-solar-en-america-latina-y-el-caribe)

Robberechts, E. (2020). Cuatro países que lideran en energía solar en América Latina y el Caribe. BID Invest. Recuperado de: <https://www.idbinvest.org/es/blog/energia/cuatro-paises-que-lideran-en-energia-solar-en-america-latina-y-el-caribe>

Rodríguez, J. S.; Espinoza Navarrete, E.; Rosenbuch, J.; Ortega Navarro, H.; Martínez Fernández, M.; y Armenta, M. M. (2017). La industria solar fotovoltaica y fototérmica en México. México: ProMéxico-GIZ-IER

Roldan, J. (2012). *Energías renovables: lo que hay que saber*. España: Paraninfo.

Sari, T. and Maya, B. (2020) Designing supply chain network of photovoltaic in Indonesia. AIP Conference Proceedings 2223. Recuperado de: <https://doi.org/10.1063/5.0000987>

Secretaría de Energía (29 de noviembre de 2018). Mapas de Ruta Tecnológica de Energías Renovables. Recuperado de: <https://www.gob.mx/sener/documentos/mapas-de-ruta-tecnologica-de-energias-renovables>

SENER (05 de Julio de 2019c). *Consultas previas, libres e informadas a comunidades y pueblos indígenas en el sector energético*. Obtenido de Acciones y Programas de la Secretaría de Energía: <https://www.gob.mx/sener/acciones-y-programas/consultas-previas-libres-e-informadas-a-comunidades-y-pueblos-indigenas-entorno-a-proyectos-energeticos>

SENER (2015a). Programa especial de la transición energética 2017-2018. Recuperado de: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/213322/PETE.pdf>

SENER (2015b). Prospectiva de Energías Renovables 2016-2030. Recuperado de: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/177622/Prospectiva de Energías Renovables 2016-2030.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/177622/Prospectiva_de_Energias_Renovables_2016-2030.pdf)

SENER (2017). Programa de desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (PRODESEN) 2018-2032. Recuperado de:

<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/331770/PRODESEN-2018-2032-definitiva.pdf>

- SENER (2019). Prodesen 2019-2033 programa de desarrollo del sistema eléctrico nacional. Recuperado de: <https://www.gob.mx/sener>
- Sener. (Junio de 2019b). *Inventario de proyectos potenciales para la generación de electricidad por energías limpias*. Obtenido: <https://dgel.energia.gob.mx/INEL/mapa.html?lang=es>
- Sevilla, M., Golf, E. y Driha, M. (2013). Las energías renovables en España, *Estudios de Economía Aplicada*, 31 (1), 35-57.
- Silva, J. A. (2019). Energía renovable en México: Retos y oportunidades. *Espacios*, 40 (25).
- Simatupang, T. and Sridharan, R. (2004). A benchmarking scheme for supply chain collaboration. *Benchmarking An International Journal*, 11 (1), 9-30.
- Solar Power Europe (2019). Global Market Outlook for solar power 2018-2022. Tech. rep., Solar Power Europe. Recupero de: <http://www.solarpowereurope.org/>(accessed19.05.12)
- Solarama (2019). Conoce los tipos de celdas solares y sus características. Recuperado de: <https://solarama.mx/blog/tipos-de-celdas-solares/#tiposdeceldassolares>.
- Somoza, J. y Betancourt, Y. (2017). Marcos regulatorios, políticas y estrategias de promoción de las fuentes renovables de energía. Experiencia internacional acumulada. *Economía y Desarrollo*, 158 (2), 151-168.
- SPE (2020). Global Market Outlook For Solar Power 2021 – 2025. Bruselas: Solar Power Europe.
- Spiegeler, C., & Cifuentes, J. I. (2016). Definición e información de energías renovables. Recuperado de: <http://www.repositorio.usac.edu.gt/4455/1/DEFINICION%20E%20INFORMACION%20DE%20ENERGIAS%20RENOVABLES.pdf>
- statista (2022). Bruttostromerzeugung aus Erneuerbaren Energien in Deutschland nach Energieträger im Jahresvergleich 2011 und 2021. Recuperado de:

<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/37612/umfrage/stromerzeugung-durch-erneuerbare-energie-in-2008/>

Statista Research Department (2022). Capacidad instalada de energía solar en México de 2011 a 2021. Recuperado de: <https://es.statista.com/estadisticas/1238183/capacidad-instalada-energia-solar-mexico/>

Streimikiene, D., Balezentis, T., Krisciukaitien, I., Balezentis, A. (2012). Prioritizing sustainable electricity production technologies: MCDM approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16 (5), 3302–3311.

Streimikiene, D., Balezentis, T., Krisciukaitien, I., Balezentis, A. (2012). Prioritizing sustainable electricity production technologies: MCDM approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16 (5), 3302–3311.

Suncore (2020). Solar Energy, Como reciclar paneles solares en México. Recuperado de: <https://suncore.com.mx/paneles-solares/como-reciclar-paneles-solares-en-mexico/>.

Sunwise (2020). ¿qué tipos de paneles fotovoltaicos existen?. Recuperado de: <https://blog.sunwise.io/que-tipos-de-paneles-fotovoltaicos-existen/>.

TECPA (2021). La energía solar en España (2021). Recuperado de: <https://www.tecpa.es/energia-solar-fotovoltaica-termsolar/>

twenergy (21 de agosto de 2019). Energías renovables ¿Qué son las energías renovables? Recuperado de: <https://twenergy.com/energia/energias-renovables/que-son-las-energias-renovables-516/>

twenergy (junio de 2019). e-book: Energía Eólica. Nociones Básicas. La energía eólica sigue creciendo a nivel mundial. Recuperado de: <https://twenergy.com/energia/energia-eolica/e-book-energia-eolica-nociones-basicas-la-energia-eolica-sigue-creciendo-a-nivel-mundial-2692/#:~:text=La%20energ%C3%ADa%20e%C3%B3lica%20es%20una,de%20megavatios%20a%20nivel%20mundial.>

U. S. department energy (2022). Solar Photovoltaics. Supply Chain Deep Dive Assessment. U.S.: Department of Energy Response to Executive Order 14017, “America’s Supply Chains”.

- U.S. Department of Energy (2022). America's Strategy to Secure the Supply Chain for a Robust Clean Energy Transition. Estados Unidos: U.S. Department of Energy.
- Valderrama, M., Ocampo, P. C., Gracia, H. & Rodríguez, L. (2018). La gestión para cadena de suministro de sistemas de energía solar fotovoltaica en Colombia y su situación actual. *AVANCES: INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA*, 15 (1), 112-130.
- Valderrama, M., Ocampo, P. C., Gracia, H. & Rodríguez, L. (2018). La gestión para cadena de suministro de sistemas de energía solar fotovoltaica en Colombia y su situación actual. *AVANCES INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA*, 15 (1), 112-130.
- Vanclay, F. (2015). *Evaluación de Impacto Social: Lineamientos para la evaluación y gestión de impactos sociales de proyectos*. Fargo, Dakota del Norte: Asociación Internacional para la Evaluación de Impactos. Recuperado de: <https://www.iaia.org/pdf/Evaluacion-Impacto-Social-Lineamientos.pdf>
- Vega de Kuyper, J. C. y Ramírez, S. (2014). *Fuentes de energía, renovables y no renovables: aplicaciones (Vol. 1)*. México: Alfaomega.
- Whitman, L., Sirivongpaisal, N., Rogers, J. and Huff, B. (2001). Towards a Supply Chain Research Model. National Science Foundation Sponsored Agile Aerospace Manufacturing Research Center.
- World Energy Trade (2022). El mundo necesita cadenas de suministro de paneles solares más diversas para garantizar una transición segura. Recuperado de: <https://www.worldenergytrade.com/energias-alternativas/energia-solar/el-mundo-necesita-cadenas-de-suministro-de-paneles-solares-mas-diversas-para-garantizar-una-transicion-segura>
- Zhang, M., Zhou, D., Zhou, P. & Liu, G. (2016). Optimal feed-in tariff for solar photovoltaic power generation in China: A real options analysis. *Energy Policy*, 97, 181-192.
- Zhang, Q., Shah, N., Wassick, J., Helling, R., van Egerschot, P. (2014). Sustainable Supply Chain Optimisation: An Industrial Case Study. *Computers & Industrial Engineering*, 74, 68–83.