



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**PROGRAMA DE POSGRADO EN ECONOMÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS**

**La producción de energía solar fotovoltaica en Oaxaca como estrategia de
crecimiento: un análisis de cadena de valor**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

Maestra en Economía

PRESENTA:

Azucena Libertad García Cisneros

TUTORA:

Dra. Seyka V. Sandoval Cabrera

Facultad de Economía, UNAM

Ciudad Universitaria, Cd. Mx. Junio, 2021



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Página intencionalmente en blanco

AGRADECIMIENTOS

Gracias a Ing. Leonicio López de ConectSol, Ing. Itzel Velasco e Ing. Ricardo López de ENERGETEC, Lic. Marco Cárdenas de CCEEA, Ing. Max Alvarado de Max Solar Energía e ITO, Ing. Fabián Siles de APRES, Ing. Enrique Toledo de Acciona Micro energía, Mtro. Luis Calderón de SolarVatio, Dr. Hermenegildo Velásquez de COCITEI, Lic. Héctor Hernández de la Secretaría de Economía del Estado de Oaxaca y a todas las personas que a través de su tiempo y conocimiento brindaron retroalimentación para el desarrollo de este proyecto.

A mis padres quienes me han apoyado y motivado a cumplir cada uno de mis sueños. Su apoyo, esfuerzo, pasión y cariño son parte esencial de, prácticamente, todo lo que hago. A mis hermanos Enrique García Cisneros y Fernando José García Cisneros cuya curiosidad y aprendizaje constante me motivan a expandir mi mente cada día más.

A la Dra. Seyka Sandoval Cabrera cuya guía ha ido más allá del desarrollo de este trabajo, gracias por la paciencia y la confianza que desde un inicio puso en mi trabajo; sin duda todas sus enseñanzas han dejado una huella importante en mi vida. Al Dr. José Luis Solleiro Rebolledo, quien me ha motivado continuar el estudio de la Economía de la Tecnología y la Innovación, y constantemente me reta a explorar nuevas oportunidades y perspectivas relacionadas al tema. A mis profesores de la maestría Dra. Nayeli Pérez, Dr. Gerardo González, Dr. Carlos Morera, Dr. Roberto Ramírez, Dr. César Salazar, Dr. José Nabor Cruz por sus enseñanzas y paciencia en resolver todas y cada una de las dudas que esta ingeniera podía tener.

A mis amigos y hermanos de otra madre Sergio Navarro Tuch, Rafael Zamudio Aguilar, Renée Denyse Labardini Ramírez, Juan Manuel Velasco Suárez y Naela Carrillo Peña cuyos tés y abrazos hacen que todas las cosas sean posibles. Los quiero.

Finalmente, un agradecimiento al proyecto PAPIIT IN 307319 “México frente a la revolución 4.0. Los sectores emergentes como pilares de desarrollo” por apoyar el desarrollo de esta tesis a través de su beca de titulación y al Programa de Apoyo para Estudios de Posgrado (PAEP) por su apoyo en el desarrollo de recolección de datos en campo.

A todos, gracias infinitas.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	3
Lista de abreviaciones	8
I. Caracterización y problematización del objeto del estudio.....	9
II. Consideraciones metodológicas y conceptuales.....	15
A. El cambio climático y el trilema energético.....	16
B. Cadenas globales de valor	20
C. Metodología	22
III. Objetivos y pregunta	25
A. Preguntas	25
B. Objetivo general	25
C. Particulares.....	25
IV. Hipótesis	25
Capítulo 1. Análisis de la Industria Global de la energía solar fotovoltaica	26
A. Descripción general de la industria	26
B. Tendencia del consumo y producción de energía solar fotovoltaica.....	28
I. Tendencia del consumo y producción de energía solar fotovoltaica en México.....	30
C. Condiciones de la industria mundial: las firmas	31
D. La cadena de valor de la energía solar fotovoltaica	34
I. Investigación y desarrollo tecnológico.....	36
II. Proveedores de componentes	39
III. Manufactura de los componentes	45
IV. Distribución.....	54
V. Planeación, ingeniería, construcción e instalación, y mantenimiento	63
VI. Desmantelamiento.....	64
E. Gobernanza en la cadena de valor de la energía solar fotovoltaica.....	64
F. Conclusiones	82

Capítulo 2. La cadena local de Oaxaca: Análisis de <i>Up-grading</i>	84
A. Condiciones territoriales y relevancia de la industria solar fotovoltaica en Oaxaca	84
I. Geografía, demografía y organización política del estado	84
II. Análisis económico y de innovación en la región	85
III. Producción y consumo de energía en Oaxaca: la relevancia de las energías renovables en el Estado.	86
IV. Análisis del medio ambiente	88
B. La industria solar fotovoltaica en Oaxaca: composición de la cadena de valor	89
C. Gobernanza de la cadena local y su entorno (instituciones de soporte)	103
Las organizaciones de soporte.....	122
D. Análisis FODA y <i>Up-grading</i> de la cadena	122
E. <i>Up-grading</i> del estado: una visión económica, social y ambiental	125
Recapitulación y Conclusiones finales.....	135
Conclusiones	137
Bibliografía	139
Anexo 1. Metodología para la priorización y selección de entrevistados	147
Anexo 2. Gobernanza de la cadena de valor	148
Anexo 3. Marco jurídico de las energías limpias en México	150
Anexo 4. Instrumentos de levantamiento de datos en campo	156
A. Entrevista a empresas manufactureras	156
B. Entrevista a empresas distribuidoras e implementadoras.....	158
C. Entrevistas a organizaciones generadoras de capacidades	160
D. Entrevistas a sector público / consultores en energía de la región	162

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Consumo mundial de energía primaria por fuente 1998-2018	10
Figura 2. Demanda mundial de energía, de electricidad por región y generación por fuente, 2000-2017	11
Figura 3. Pilares fundamentales de un sistema energético.....	19
Figura 4 Fases de la investigación	22

Figura 5 Componentes de un sistema fotovoltaico	27
Figura 6 Costo de los componentes de un sistema fotovoltaico.	27
Figura 7 Precio de las celdas fotovoltaicas de silicio cristalino (\$USD/Wp)	28
Figura 8 Capacidad global de Energía Solar Fotovoltaica y adiciones anuales, 2008-2018.....	29
Figura 9 Capacidad global de energía solar fotovoltaica, por país y por región, 2008-2018.....	30
Figura 10 Capacidad de energía solar fotovoltaica y adiciones, Top 10 de países. 2018	31
Figura 11 Cadena de valor de la industria solar fotovoltaica.....	34
Figura 12 Actividades relacionadas con cada eslabón de la cadena de valor de la industria solar fotovoltaica	36
Figura 13 Tabla de registro de eficiencia en la de celdas fotovoltaicas en proceso de investigación.....	37
Figura 14 Países que generan la investigación y desarrollo tecnológico de la industria solar	38
Figura 15 Ranking de los principales países productores de silicio a nivel mundial en 2019 (en miles de toneladas métricas)	40
Figura 16 Proceso para la obtención de silicio de grado de semiconductor.....	41
Figura 17 Proceso para la obtención de silicio de grado de semiconductor.....	41
Figura 18 Países que contribuyen a la producción del silicio metalúrgico	43
Figura 19 Países que producen película delgada.....	45
Figura 20 Principales propiedades del material obtenido de acuerdo con el método de producción de lingotes.....	46
Figura 21 Países que producen obleas	47
Figura 22 Países que producen celdas fotovoltaicas	50
Figura 23 Países que producen celdas fotovoltaicas	53
Figura 24 Países donde se localizan las empresas distribuidoras de módulos y sistemas.....	55
Figura 25. Instrumentos legales del ámbito federal para promover la innovación, producción y adopción de energías limpias (considerando la jerarquía de las leyes).....	59
Figura 26 Ubicación geográfica del estado de Oaxaca	84
Figura 27 Regiones de Oaxaca donde se encuentran los actores regionales.....	90
Figura 28 Entorno de la industria solar fotovoltaica en Oaxaca	102
Figura 29 FODA del Estado de Oaxaca.....	122
Figura 30 Proceso de priorización y selección de entrevistados.....	147

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Factores de éxito y barreras de entrada a las empresas en la investigación y desarrollo tecnológico	39
Tabla 2 Principales productores de polisilicio de grado solar en 2018.....	42
Tabla 3 Principales productores de polisilicio de grado solar en 2018.....	42

Tabla 4 Factores de éxito y barreras de entrada a las empresas en la producción de silicio metalúrgico .	44
Tabla 5 Factores de éxito y barreras de entrada a las empresas en los módulos de película delgada	45
Tabla 6 <i>Top</i> 10 de fabricantes de obleas de silicio (2018).....	47
Tabla 7 Factores de éxito y barreras de entrada a las empresas en la producción de obleas	48
Tabla 8 <i>Top</i> 10 de productores de celdas fotovoltaicas (2018).....	48
Tabla 9 Factores de éxito y barreras de entrada a las empresas en la producción de celdas.....	50
Tabla 10 <i>Top</i> 10 de productores de ensambladores de módulos fotovoltaicos (2019)	52
Tabla 11 Factores de éxito y barreras de entrada a las empresas en la producción de celdas.....	53
Tabla 12 <i>Top</i> 10 de productores de ensambladores de módulos fotovoltaicos (2019)	54
Tabla 13 Factores de éxito y barreras de entrada a las empresas en los módulos de película delgada	55
Tabla 14 Factores de éxito para las etapas locales	64
Tabla 15 Barreras de entrada a las empresas en el desmantelamiento de los módulos fotovoltaicos	64
Tabla 16 Gobernanza de la investigación y desarrollo tecnológico en la cadena global	66
Tabla 17 Gobernanza de los proveedores de componentes en la cadena global.....	68
Tabla 18 Gobernanza de la manufactura de componentes en la cadena global	70
Tabla 19 Gobernanza de la distribución en la cadena global.....	72
Tabla 20 Gobernanza de la planeación en la cadena global.....	74
Tabla 21 Gobernanza de la fase de Ingeniería, construcción e instalación en la cadena global	76
Tabla 22 Gobernanza de las operaciones y mantenimiento en la cadena global	78
Tabla 23 Gobernanza del desmantelamiento en la cadena global.....	80
Tabla 24 Organizaciones relacionadas a la Energía Solar en Oaxaca.....	95
Tabla 25 Gobernanza de la investigación y desarrollo tecnológico en la cadena local de Oaxaca.....	103
Tabla 26 Gobernanza de la proveeduría de componentes en la cadena local de Oaxaca.....	105
Tabla 27 Gobernanza de la manufactura de componentes en la cadena local de Oaxaca.....	107
Tabla 28 Gobernanza de la distribución en la cadena local de Oaxaca	110
Tabla 29 Gobernanza de la planeación (diseño y financiamiento) en la cadena local de Oaxaca	112
Tabla 30 Gobernanza de la ingeniería, construcción e instalación en la cadena local de Oaxaca	114
Tabla 31 Gobernanza de la operación y mantenimiento en la cadena local de Oaxaca.....	116
Tabla 32 Gobernanza del desmantelamiento en la cadena local de Oaxaca	118
Tabla 33 Estrategias por eslabón de la cadena de valor local	125
Tabla 34 Determinantes clave de la gobernanza de la cadena de valor global	150

LISTA DE ABREVIACIONES

ANMERT	Agencia Nacional de Gestión de la Energía de la República de Túnez (Agence Nationale de la Maîtrise de l’Energie de la République Tunisienne)
CGV	Cadenas Globales de Valor
CONACYT	Consejo Nacional para la Ciencia y la Tecnología
IEA	Agencia Internacional de Energía
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
IRENA	Agencia Internacional de las Energías Renovables (International Renewable Energy Agency)
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GIZ	Corporación Alemana para la Cooperación Internacional (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit)
SENER	Secretaría de Energía
SSF	Sistema Solar Fotovoltaico
PRODESEN	Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional
REN 21	Renewable Energy Policy Network for the 21st Century
WEC	Consejo Mundial de Energía (World Energy Council)

I. CARACTERIZACIÓN Y PROBLEMATIZACIÓN DEL OBJETO DEL ESTUDIO.

La energía es uno de los insumos más importantes para el desarrollo económico, es responsable de al menos la mitad del crecimiento industrial puesto que muchas de las actividades de producción y de consumo dependen de ella (Asghar, 2008). En los países en desarrollo, se considera el acceso a la energía moderna¹ como una gran fuerza impulsora para el alivio de la pobreza ya que el suministro de energía facilita la mejora de las condiciones de vida humana y la productividad de los sectores (Thiam, 2011).

La dinámica exacta de la relación entre el consumo de energía y el crecimiento económico es compleja y depende de su contexto (Ritchie & Roser, 2019). Se asume que el incremento del consumo de energía en una región, en la medida en que permite la reducción de los niveles de pobreza, podría estimular el crecimiento de la entidad. Sin embargo, el consumo de energía presenta importantes externalidades negativas.

En 2010, el proyecto Rutas de Descarbonización Profunda (DDPP Deep por sus siglas en inglés) identificó que el 74% del CO₂ global emitido de ese mismo año estaba relacionado con la industria de la energía² (la tendencia continua hasta la fecha). De acuerdo con los informes realizados por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés), globalmente, el consumo de energía representa la mayor fuente de emisiones de gases de efecto invernadero derivada de las actividades humanas: aproximadamente dos tercios de las emisiones de gases de efecto invernadero mundiales. En este contexto la energía renovable surge como un pilar clave para el desarrollo económico sostenible, el bienestar humano y el alivio de la pobreza a largo plazo.

La tendencia del consumo energético es creciente y, pese a las externalidades identificadas, la composición del sistema energético³ mundial ha variado muy poco a lo largo del tiempo, siendo el consumo y producción de energía a través de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas)

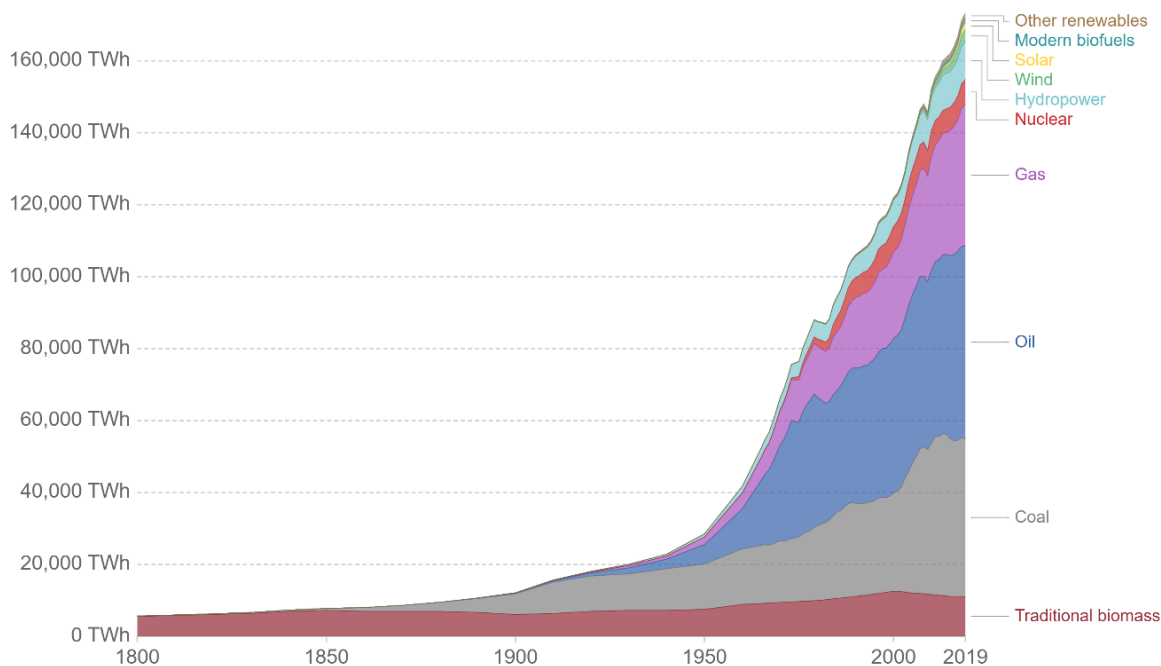
¹ El término energía moderna hace referencia a aquella energía que es fiable, sustentable y, de ser posible, producto de la energía renovable u otras fuentes energéticas con bajo nivel de emisiones de carbono. El término resulta relevante al desarrollo al asumir que, a mayor cantidad de energía moderna, el trabajo requerido por las personas para realizar actividades de recolección de combustibles disminuye, permitiéndoles emplear su tiempo en actividades de otra índole (como estudiar, en el caso de los niños o adquirir un trabajo en el caso de las mujeres).

² La alta concentración de gases de efecto invernadero proveniente del sector energético está ligada a la quema de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas) empleados en las actividades de calefacción, electricidad, transporte e industria.

³ Definimos al sistema energético como un conjunto ordenado de normas y procedimientos que regulan el funcionamiento del sector energético, el cual se relaciona con actividades de producción, transportación, consumo, manejo e intercambio de los productos energéticos.

predominante a pesar de existir una tendencia de transición a energías renovables y modernas, como se observa en la *Figura 1*.

Figura 1 Consumo mundial de energía primaria por fuente 1998-2018



Fuente: Our World in Data (2021)

Considerando la necesidad de modificar la composición del sector energético a uno con mayor composición de energías modernas, la industria y el consumo energéticos están incurriendo en una transformación tendiendo mayoritariamente hacia el uso de la energía eléctrica⁴ (International Energy Agency, 2019).

El consumo de electricidad a nivel mundial aumenta a un mayor ritmo en comparación a otros sectores energéticos, debido a la electrificación de los usos de la energía⁵. Las tecnologías innovadoras para producir, transportar y almacenar la energía están ganando terreno por encima de las formas tradicionales, principalmente en las economías en desarrollo

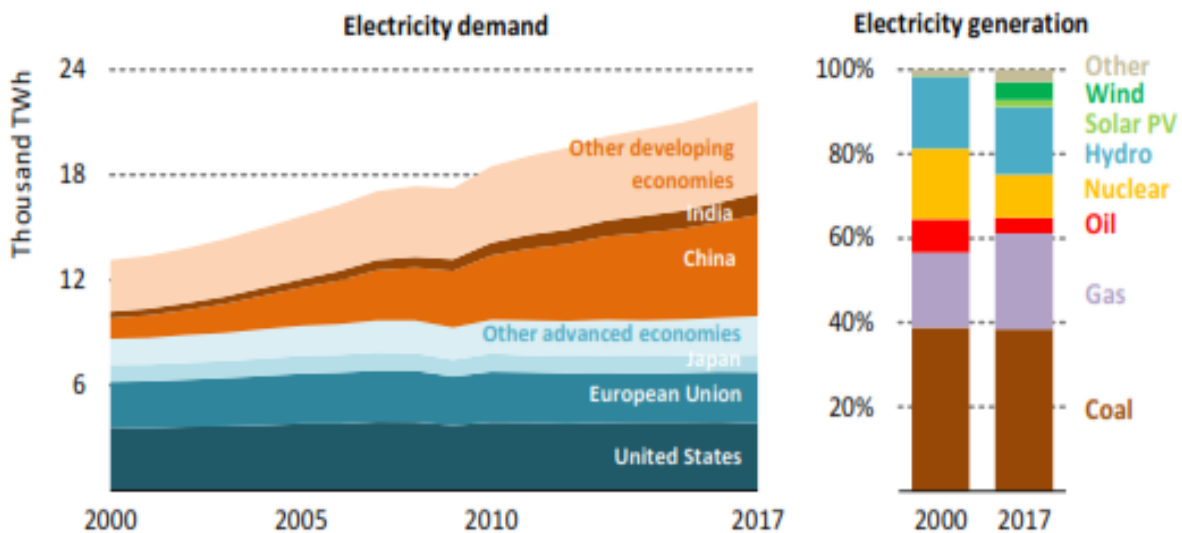
⁴ A 2018, la electricidad mundial fue producida, aproximadamente, en 41% por carbón y petróleo, 35% por fuentes renovables (incluyendo fuentes geotérmicas, solares, eólicas, nucleares, biocombustibles, entre otros), 25% por petróleo y gas natural. No obstante, la tendencia de la generación de energía eléctrica avanza a mayor velocidad hacia la generación con renovables.

⁵ Expansión de los usos de la energía eléctrica que, además, sustituyen a otras formas de energía (por ejemplo, la calefacción a través de combustión de carbón es sustituida por calefacción eléctrica). De acuerdo con el *Global Energy & CO2 Status Report* de la Agencia Internacional de Energía (2018), la electricidad representa el 19% del consumo final total en la actualidad y ha presentado, desde 2000, un crecimiento anual del 3%, aproximadamente dos tercios más rápido que el consumo final total.

(incluyendo China, India y otros países en desarrollo), las cuales representan alrededor del 85% del aumento de la demanda de este tipo de energía y en las últimas décadas mostraron tasas de crecimiento sobresalientes que en el caso de China se explicaron por procesos de indicadores acelerados que incrementaron el consumo de energía eléctrica (Figura 2).

A pesar de la expansión de la electricidad en las economías en desarrollo, existen dificultades para alcanzar el acceso universal a la electricidad (IEA, 2018).

Figura 2. Demanda mundial de energía, de electricidad por región y generación por fuente, 2000-2017



Fuente: Agencia Internacional de Energía. (2018). *World Energy Outlook (WEO) - Special Report*.

La figura de la izquierda representa la demanda mundial de electricidad por región, donde aproximadamente el 85% corresponde a países con economías en vías de desarrollo. La figura de la derecha es una comparación de los *mix* energéticos⁶ de 2000 y 2017, en el cual se muestra que las energías renovables no han afectado la participación general de los combustibles fósiles.

En la transformación energética que está en marcha la participación de las energías renovables es relevante. En 2017, este tipo de energía creció más del 4% a raíz de la expansión en la generación de electricidad, donde las mismas representaron el 45% del crecimiento en 2018 (Enerdata, 2018). Sin embargo, su participación aún no modifica la participación general de los combustibles fósiles en la generación eléctrica. Como se observa en la Figura 2, el *mix* energético mundial está constituido mayoritariamente por la producción de electricidad mediante fuentes convencionales como el carbón,

⁶ *Mix* energético: Combinación de las diferentes fuentes de energía que cubren el suministro eléctrico de un país.

el gas y el petróleo (aproximadamente el 65% de la producción de energía eléctrica en 2017) y en menor medida fuentes alternas como la nuclear, solar, eólica e hidroeléctrica (IEA, 2018).

La transformación del sistema energético y la expansión del uso de energías renovables permite contrarrestar las tendencias de consumo crecientes y la generación de GEI producidos. Es decir, el aumento de la participación de las energías renovables en la energía eléctrica permite, por un lado, paliar las externalidades del sector energético en el ámbito medio ambiental, y por el otro proveer de energía en *pro* al crecimiento económico.

La velocidad de la transición de los sistemas energéticos depende de tres factores: las condiciones geográficas que permiten o no la instalación de cierto tipo de tecnologías, la infraestructura de los sistemas energéticos y las políticas públicas energéticas de los países. En el caso particular de los países desarrollados, la velocidad de transición depende y se ve limitada por su infraestructura instalada de largo plazo. Por lo tanto, existen oportunidades importantes en las economías en desarrollo para implementar estrategias que permitan tomar la delantera respecto a la transición de los sistemas energéticos, limitadas por barreras a la entrada en términos de inversión de capital.

El caso de México es particular. En términos de condiciones geográficas, México es un país favorecido para la generación de energía a través de fuentes eólicas (velocidades de viento que superan los 30 km/h en la zona de Tehuantepec, Oaxaca), solares (radiación solar 5.3 kwh/m² por día promedio, en zonas del Norte -Sonora, Sinaloa, Baja California - y del Sur – Oaxaca - del país con radiaciones promedio superiores), biomasa e incluso geotérmica (México es el cuarto país del mundo con mayor capacidad geotérmica instalada, aún cuenta con dos zonas que podrían ser explotadas en el estado de Nayarit). Desde el punto de vista de infraestructura, el Sistema Eléctrico Nacional (SEN) es un sistema maduro⁷ (característico de los países desarrollados), el cual enfrenta retos de transformación tecnológica y de demanda (Biosfera Desarrollos & Coenergía, 2017). A saber: 1) la producción de energía está compuesta de tecnología obsoleta⁸ basada en gas natural y otros combustibles importados, 2) la transmisión de energía cuenta con limitadas rutas de abastecimiento para expandirse por todo el territorio⁹ y 3) existe el riesgo de que el país quede cautivo debido a la

⁷ En México, el Sistema Eléctrico Nacional (SEN) se encuentra compuesto de 4 sistemas eléctricos aislados y contaba, en 2017, con una capacidad instalada de 75,685 MW, de la cual el 70.5% correspondía a centrales eléctricas convencionales y 29.5% a centrales eléctricas con tecnologías limpias (Secretaría de Energía, 2018). Existe una tendencia creciente de uso de tecnologías renovables (solar, eólica, geotérmica, hidroeléctrica); sin embargo, las tecnologías con mayor capacidad instalada dentro del SEN emplean energía no renovable con una contribución significativa a la generación de gases de efecto invernadero (Secretaría de Energía, 2018).

⁸ Tecnologías que, por el tiempo de instalación, tienen niveles de eficiencia de conversión energética bajos

⁹ El Sistema Energético se encuentra saturado. Si bien, la posibilidad de generar existe, la red del SEN, no permite con facilidad la instalación de nuevos proyectos de generación.

posibilidad de ser estructuralmente deficitario de energía para los próximos años. Estas condiciones aunadas a las repercusiones de la huella de carbono generada por el sector eléctrico en la salud y el medio ambiente, el desafío no es exclusivamente el de incrementar la producción de energía, sino hacerlo de manera sustentable.

Desde el punto de vista de política energética las medidas que ha establecido México se pueden dividir en dos fases de esfuerzos contrapuestos: las estrategias impulsadas en el sexenio 2012-2018 y las propuestas para el sexenio 2018-2024. Durante el periodo 2012-2018, el país realizó modificaciones en las políticas nacionales definiendo a las energías limpias¹⁰ como fuente de desarrollo. Algunos de los intentos se vieron reflejados en la reforma energética de 2013¹¹, la implementación de las reformas secundarias de 2013-2014¹² así como en la Reforma Energética y la Ley de Transición Energética realizadas en 2015¹³. Adicionalmente, a nivel federal se desarrollaron iniciativas que promovían la investigación, innovación y desarrollo en materia energética, particularmente la renovable¹⁴.

Por otro lado, en el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2024, la política energética plantea como fuentes primarias de energía para el desarrollo al petróleo y gas, y contempla a las energías renovables como un medio de soporte (particularmente a las tecnologías de generación distribuida) como soporte para promover el acceso a la energía en zonas de difícil acceso. Se advierte una ruptura en la política

¹⁰ Es importante marcar la diferencia entre la concepción de energías limpias y renovables.

Energías limpias (Artículo 3, Fracción XXII, Ley de la Industria Eléctrica): “Aquellas fuentes de energía y procesos de generación de electricidad cuyas emisiones o residuos, cuando los haya, no rebasen los umbrales establecidos en las disposiciones reglamentarias que para tal efecto se expidan.” Incluye proyectos de generación con energía renovable y cogeneración eficiente.

Energías renovables (Artículo 3, Fracción XVI, Ley de Transición Energética): “Aquellas cuya fuente reside en fenómenos de la naturaleza, procesos o materiales susceptibles de ser transformados en energía aprovechable por el ser humano, que se regeneran naturalmente, por lo que se encuentran disponibles de forma continua o periódica, y que al ser generadas no liberan emisiones contaminantes”.

¹¹ Esta reforma tenía como objetivo remodelar las estructuras legales del sector energético para permitir nuevas inversiones (apertura comercial) y tecnologías en la cadena de valor de los hidrocarburos.

¹² Las reformas secundarias incluyeron la creación las siguientes normativas: Ley de Hidrocarburos, Ley de la energía Geotérmica, Ley de la Industria Eléctrica, Ley de la Agencia Nacional de Seguridad Industrial y Protección al Medio Ambiente del Sector Hidrocarburos, Ley de los Órganos Reguladores Coordinados en Materia Energética.

¹³ Esta ley tiene por objetivo regular el aprovechamiento sustentable de la energía, así como las obligaciones en materia de Energías Limpias y de reducción de emisiones contaminantes de la Industria Eléctrica manteniendo la competitividad de los sectores productivos.

¹⁴ En términos de Investigación, Innovación y Desarrollo la estrategia se dividió en tres áreas: 1) el desarrollo de los Centros Mexicanos de Investigación en Energías (CEMIEs): bioenergía, solar, eólico, geotérmico, océano, captura CO₂ y redes, 2) el desarrollo de competencias técnicas mediante los Programas de Investigación de Largo Aliento y el otorgamiento de becas del Fondo de Sustentabilidad Energética-CONACYT y 3) el programa Premio PRODETES, el cual tenía por objetivo incentivar la comercialización de tecnologías innovadoras mediante la evaluación técnica y financiera de los proyectos de investigación relacionados a energías renovables y redes.

y las estrategias energéticas entre los sexenios, evidenciando que existen riesgos significativos para la promoción de las energías limpias a nivel nacional debido al cambio de gobierno.

Las estrategias actualmente propuestas e implementadas han disminuido el desarrollo de la industria, tanto a nivel macro, con el “Acuerdo para garantizar la eficiencia, calidad, confiabilidad, continuidad y seguridad del Sistema Eléctrico Nacional (2020)”, como a nivel micro con el freno de apoyos provenientes del Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica en 2018 y 2019 (FIDE), generando inestabilidad en el sector.

No obstante, la transición energética continua en el país, aunque su expansión no ha sido incluyente. Las condiciones del sistema aunado a las condiciones geográficas del país han dejado fuera a zonas de difícil acceso que padecen de pobreza energética y que, de forma contradictoria, generan energía para el resto del país, tal es el caso de algunas regiones del estado de Oaxaca.

Oaxaca es el estado líder en la generación de energía a partir de fuentes renovables al producir el 43% del total del país¹⁵. De acuerdo con la Evaluación de Necesidades Regionales 2 publicada por la Secretaría de Energía, el Estado cuenta con áreas de especialización consolidadas en generación de energía eólica terrestre¹⁶ y la energía solar fotovoltaica¹⁷. Además, el estado tiene potencialidad en áreas de especialización transitivas en generación de energía mediante minihidroeléctricas, el uso de fuentes solares térmicas y el uso de biocombustibles, las cuales requieren de un grado mayor de maduración y difusión de las tecnologías para ser empleadas.

Pese a su potencial y aporte energético, Oaxaca es la segunda entidad más pobre del país y con menor número de viviendas que cuentan con energía eléctrica a nivel nacional (INEGI, 2014. Perspectiva estadística Oaxaca). De acuerdo con los datos del INEGI (2015) las viviendas sin acceso a energía eléctrica llegaban a 52,147 (lo cual representaba el 5% del total estatal), ubicando al estado en el último lugar nacional. Igualmente, se identificó que más del 50% de estas viviendas se concentraba en localidades con menos de 500 habitantes. En cuanto a rezago destacaban con un 22.5% las localidades con menos de 100 habitantes.

¹⁵ En la entidad se genera el 66% de la energía eólica del país y es uno de los ocho estados con mayor generación de energía eléctrica a través de fuentes no contaminantes con 27.8% del total.

¹⁶ A nivel nacional, Oaxaca se ha convertido en uno de los lugares más atractivos para la instalación de aerogeneradores por la sobresaliente velocidad media anual de los vientos (particularmente en el Istmo de Tehuantepec), la cual excede 10 m/s a 50 metros de altura sobre el terreno, siendo que en promedio en el mundo se aprovechan vientos de 6.5 m/s para la generación de energía (Secretaría de Energía, 2018).

¹⁷ Las regiones Mixteca, Costa y Sierra Sur presentan un alto nivel de radiación similar a la de algunas zonas de Sonora, Durango y Chihuahua (lugares de mayor radiación en el país). Aproximadamente 12,720 km² conforma la franja de más alta radiación solar del estado (Secretaría de Energía, 2018).

La diferencia entre las condiciones de las áreas urbanas y áreas rurales ha obligado al Estado a establecer una política pública diferenciada, la cual contempla la atención de esta carencia ampliando el servicio energético mediante tecnología convencional en zonas urbanas y sistemas no convencionales, particularmente con base en módulos solares y dotación de energía para usos básicos, en las áreas rurales con localidades y viviendas dispersas (Biosfera Desarrollos & Coenergía, 2017). Sin embargo, las disparidades entre las regiones que cuentan con acceso a energía y las que no, han generado disputas relacionadas a la generación de energía, la explotación de los recursos y la inequidad social de los proyectos energéticos, en particular los proyectos eólicos de la zona de Istmo.

Por lo tanto, considerando la premisa de que la energía es potenciadora del crecimiento y desarrollo económico sustentable, aunado a las potencialidades en materia de infraestructura y de obtención de factores naturales en México, nos preguntamos, para el caso de Oaxaca, ¿qué condiciones de producción y consumo de energía solar podrían impulsar el crecimiento y desarrollo sostenible en Oaxaca? ¿Cuáles son los segmentos de la cadena de valor de la energía solar fotovoltaica que definen oportunidades de crecimiento para los agentes económicos de Oaxaca?

Con el objetivo de contestar a estas preguntas, en el presente trabajo se estudiarán las potencialidades de Oaxaca para el desarrollo de actividades de producción de **energía solar fotovoltaica** en la entidad en el marco de las cadenas globales de valor considerando: las tendencias mundiales del mercado energético renovable, las condiciones del mercado nacional y la política energética nacional, así como los compromisos internacionales.

II. CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS Y CONCEPTUALES.

El presente trabajo considera dos premisas principales: el cambio climático como un riesgo económico significativo y el trilema energético¹⁸ como una medida de mitigación al cambio climático y como proceso de transición a un sistema energético sustentable.

En este sentido, se identifica la necesidad de transitar hacia estrategias de crecimiento y desarrollo sustentable, entendido este como la satisfacción de las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades (Asamblea General de las Naciones Unidas, 2020).

¹⁸ El trilema energético es un modelo teórico que plantea que un sistema energético debe estar constituido de tres pilares fundamentales: *la asequibilidad de las energías, la confiabilidad del suministro y la sustentabilidad*. En páginas posteriores se detalla el modelo a mayor profundidad.

A. El cambio climático y el trilema energético

El cambio climático¹⁹ se analiza, por lo general con énfasis ambiental, sin embargo, éste conlleva grandes impactos económicos y sociales a nivel mundial. De acuerdo con el Informe de Stern publicado en 2006, el cambio climático representa una amenaza económica que afectará los elementos básicos de la vida de personas de todas partes del mundo - el acceso al agua, la producción de alimentos, la sanidad, y el medio ambiente. Este informe cuantifica que cientos de millones de personas podrían sufrir hambre, escasez de agua e inundaciones costeras a medida que la temperatura promedio del planeta aumenta.

De acuerdo con este informe, la estimación de los costos globales y los riesgos del cambio climático se calculan en la pérdida de al menos un 5% del Producto Interno Bruto (PIB) global anual, de forma indefinida; y si se amplía la diversidad de riesgos e impactos, los daños estimados podrían alcanzar un 20% o más del PIB²⁰. Por otro lado, estima que, de reducirse las emisiones de gases de efecto invernadero, la pérdida mundial del PIB generado se situaría en torno al 1% anual (Stern, 2006).

De igual manera, el estudio confirma que las acciones de mitigación requieren de atención inmediata, puesto que las consecuencias de nuestras acciones presentes sobre los futuros cambios climáticos poseen largos tiempos de espera; de manera tal que las acciones actuales tendrán un impacto limitado sobre el clima de los próximos 40 o 50 años y, en este mismo sentido, las medidas que se adopten en los próximos 10 o 20 años influirán profundamente sobre el clima de la segunda mitad del siglo actual y del siguiente (Stern, 2006). Concretamente, se advierte que los beneficios de la adopción de medidas prontas y firmes sobre el cambio climático superaran con creces los costos de largo plazo.

En este contexto, el estudio del crecimiento y el desarrollo económico en todas sus aristas demanda la incorporación de una visión sustentable que presente diagnósticos, opciones y estrategias en las que el medio ambiente sea un elemento dinámico, y no dado, en la reproducción de la actividad económica.

¹⁹ El Cambio Climático se definió formalmente como un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima, observado durante períodos de tiempo comparables. El interés sobre el estudio de este fenómeno data de la Conferencia Mundial sobre el Clima efectuada en 1979, que fue continuada por la Convención Marco (CMCC) de 1992, entre otras.

²⁰ Si consideramos que el PIB mundial en 2018 fue de 85.91 billones de dólares (World Bank, 2020), las pérdidas mínimas causadas por el cambio climático (el 5% de pérdida) corresponden a 429.55 mil millones de dólares. En el caso de la ampliación de riesgo e impactos, las pérdidas corresponden a 1.7182 billones de dólares.

El informe Stern enfatiza la necesidad de establecer medidas enérgicas y decisivas para reducir las emisiones, presenta a la mitigación del cambio climático²¹ como una solución para combatir la crisis mundial. Dado que el sector energético proporciona aproximadamente dos tercios de las emisiones de GEI a la atmósfera, establecer medidas de mitigación de GEI en el sector podría representar una solución de gran impacto.

La relevancia de la energía en la economía mundial y el desarrollo económico, los segmentos de las sociedades que aún no acceden a energía, la generación de energía con alta contribuciones de GEI, así como la dependencia en combustibles fósiles nos alerta que nos encontramos ante la crisis un modelo energético que necesita ser modificado por razones socioeconómicas, medioambientales y estratégicas. Por tanto, el Consejo Mundial de la Energía (WEC por sus siglas en inglés) y la Agencia Internacional de la Energía (IEA por sus siglas en inglés) han propuesto modelos de sistemas energéticos que permitan impulsar la transición hacia un nuevo sistema energético mundial.

De acuerdo con el estudio *Trilema Energético Mundial* (WEC, 2006) y al informe *Perspectiva mundial de la energía* (IEA, 2018), un sistema energético debe estar constituido de tres pilares fundamentales: *la asequibilidad de las energías, la confiabilidad del suministro y la sustentabilidad*. De equilibrar estos pilares, los países pueden tener bases para la prosperidad y la competitividad (Wyman, 2016; IEA, 2018).

También, en el *Trilema Energético Mundial* (Wyman, 2016), se identifican cinco áreas primordiales o acciones estratégicas para que los países aceleren su transición energética y avancen en el equilibrio del trilema:

1. **Transformar el suministro de energía.** Los formuladores de políticas y los tomadores de decisiones deben establecer objetivos energéticos claros y directos. La acción en concreto es promover la diversificación del *mix* energético y zxeuitar los retrasos en la implementación de proyectos energéticos limpios.
2. **Avanzar en el acceso a la energía.** Los países deben promover la ampliación de la infraestructura para respaldar la seguridad, la confiabilidad y el acceso a la energía moderna. La acción fomenta la búsqueda de mecanismos innovadores que permitan un acceso

²¹ Este enfoque hace referencia a las iniciativas para reducir o prevenir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) o para potenciar su eliminación de la atmosfera mediante sumideros (Iniciativa UNA ONU: Asociación para el aprendizaje sobre el Cambio Climático, 2014). El informe de Stern plantea la reducción de emisiones energéticas - mayor eficiencia energética, modificaciones de la demanda, y la adopción de tecnologías de energía limpia, calor y transporte – y la reducción de emisiones no energéticas – las provenientes de la deforestación y de procesos agrícolas.

asequible para que las personas utilicen los beneficios de la energía moderna para actividades generadoras de ingresos.

3. **Lograr la asequibilidad.** Es indispensable garantizar la asequibilidad a largo plazo de la energía, principalmente en países con productos internos brutos (PIB) bajos y una clasificación baja en la dimensión de equidad energética²². Para ello, el WEC propone aumentar la competitividad en el mercado de la electricidad en el largo plazo y, el uso de subsidios y programas sociales en el corto y mediano plazo²³.
4. **Mejorar la eficiencia energética y gestión de la demanda**²⁴. Los formuladores de políticas deben alinear los intereses de los propietarios de activos, usuarios y reguladores, y continuar implementando una combinación de estándares de eficiencia energética, calificaciones de desempeño, programas de etiquetado e incentivos. También deben aumentar la conciencia en todos los sectores industriales y alentar a los consumidores a seguir centrándose en una mayor eficiencia energética.
5. **Descarbonizar al sector energético.** Esta acción pretende aumentar la participación de las energías renovables en el *mix* energético y trabajar para emplear tecnologías con menor emisión de CO₂ en el sector energético.²⁵

²² La equidad energética busca asegurar que toda la población tenga acceso físico y financiero a los energéticos comerciales, es decir que tenga la posibilidad de adquirir un bien energético y que el precio (y el costo de producción) permitan que sea accesible a cualquier individuo. El índice del WEC contempla la medición de cuatro indicadores: 1) el porcentaje de población con acceso a electricidad, 2) los precios de la electricidad, 3) el precio nacional de la electricidad por KWh como indicador de servicios energéticos asequibles para usos domésticos y comerciales, 4) los precios de gasolina y diésel por litro como indicador de acceso a servicios energéticos asequibles para pasajeros y vehículos comerciales. Para el caso de México, en 2019, se disminuyó parcialmente su evaluación en el rubro de equidad energética debido a la política nacional de promover y reforzar las dos empresas nacionales involucradas en la producción de petróleo, gas y generación de electricidad, lo cual generó la posibilidad de que se redujera la efectividad de los mercados recién abiertos y esto se reflejara en un aumento de precios. Para el caso 2020 México se califica como 84.6/100 en equidad energética debido a que 1) los ingresos de los hogares mexicanos se verán gravemente afectados como consecuencia del COVID-19, lo que hará que la asequibilidad de la energía sea un desafío a corto plazo; 2) el énfasis de las políticas en la reducción de la pobreza en las áreas rurales, particularmente en el sur del país, podría resultar en una mejora significativa en el acceso a cocinas limpias y tecnologías modernas de energía.

²³ EL WEC identifica que los subsidios a largo plazo pueden erosionar la rentabilidad de los servicios públicos, paralizar las mejoras en la infraestructura energética y estimular el uso ineficiente de la energía.

²⁴ Para el caso de 2020, el puntaje de Seguridad Energética de México cayó de confiable (A) a B debido a un deterioro del balance de producción de energía. Esto se debe a la disminución de la producción y refinación de petróleo durante la última década y al aumento de las importaciones para satisfacer el crecimiento de la demanda de gas natural y combustibles para el transporte. La política del gobierno en ejercicio prioriza la seguridad energética a través de la inversión de empresas estatales en petróleo y gas *upstream* (PEMEX) y electricidad (CFE). Al mismo tiempo, se ha desalentado la inversión privada luego de una revisión de las políticas y regulaciones emblemáticas establecidas por el gobierno anterior, incluidas las subastas de acres de petróleo y gas, así como en la electricidad.

²⁵ Las políticas dinámicas y flexibles de inversión en energía renovable son la clave para responder a la evolución de la dinámica del mercado y los desarrollos tecnológicos, y con ello cumplir los objetivos mundiales de reducción de GEI.

Figura 3. Pilares fundamentales de un sistema energético



Fuente: Presentación del Consejo Mundial de la Energía. (Wyman, 2016).

Adicionalmente, el estudio establece que para poder afrontar el trilema energético, es fundamental que 1) el régimen político respalde a un sector energético robusto y 2) que las acciones políticas y de inversiones destinadas a cambiar la oferta y la demanda de energía se efectúen a la brevedad. Es importante aclarar que las acciones del régimen político no pueden ser consideradas desde una perspectiva nacional y cerrada, sino como un conjunto inmerso en una red institucional interdependiente de carácter global, en la cual, el diseño *intra* de la política energética se influye por las tendencias de los mercados mundiales y los actores estratégicos de las industrias globales. Razón por la cual, el estudio de la industria global se erige en términos de análisis analítico y fundamental para comprender los alcances de la política energética nacional y las posibilidades de desarrollo de la industria a nivel local.

La industria de las energías renovables tiene un alcance global, y el acceso a sus insumos tangibles e intangibles, como condición del desarrollo de los segmentos de producción y distribución de la energía a nivel local, escapan a la lógica cerrada, por lo que es indispensable identificar el papel en el cual se inserta el país y el estado de Oaxaca dentro de la industria nacional-global, así como los efectos que tiene la industria dentro de dichas regiones geográficas. Ante este requerimiento, recurrimos al análisis de cadenas globales de valor.

B. Cadenas globales de valor

La actividad económica en un entorno económico interdependiente y complejo requiere de recursos teóricos y analíticos que identifiquen uno o más mecanismos causales que revelen parcialmente las posibilidades del desarrollo territorial y sus posibles trayectorias de forma tal que permitan realizar recomendaciones de política pública complementados (Sturgeon, 2011).

Las cadenas globales de valor (CGV) surgen como un marco de investigación que vincula los niveles de análisis macro (global), meso (industria y país) y micro (empresa y comunidad) para enfrentar los desafíos de la globalización económica (Gereffi G. , 2019). El marco tiene como objetivo examinar la estructura y la dinámica de las industrias globales y las perspectivas de desarrollo de las naciones y empresas donde estas funcionan (Gereffi G. , 2001). La consideración más relevante de esta metodología es que el desarrollo proviene de vínculos selectivos entre agentes económicos con distintos niveles de desarrollo (Gereffi G. , 2001) con estrategias eficientes y donde las asimetrías conducen a la transferencia de conocimiento y recursos, y por ende al *upgrading* de los agentes menos desarrollados (Gereffi G. , 2001, 2005).

La metodología de CGV ha sido adoptada por diversas organizaciones internacionales, como el Banco Mundial, la ONU, entre otras. Sin embargo, debido a las diferentes tendencias ideológicas, la historia, la cultura y las circunscripciones a las que sirve cada organización no existe una teoría de desarrollo única para el enfoque de CGV (Gereffi G. , 2019). Por tanto, se identifica la existencia de al menos tres enfoques principales (Gereffi G. , 2001):

- Interpretación "neoliberal": Se centra en el comercio internacional abierto y la inversión como fundamento de la centralidad de las cadenas. El papel del Estado se limita a apoyar el funcionamiento de las cadenas y a minimizar las restricciones y regulaciones comerciales. Limita el papel de las políticas estatales en otros dominios y prefiere la gobernanza reguladora y distributiva de "subcontratación" a los actores privados.
- Interpretación "desarrollista": Considera al Estado como el principal árbitro del crecimiento económico, se enfoca en los grupos y regiones más vulnerables que están marginados por el desarrollo desigual, y enfatiza las inversiones en capital humano, infraestructura física y capacidad productiva local. Dado que el desarrollo se basa en acciones gubernamentales, este enfoque contempla un relacionamiento limitado con los actores de la cadena.
- Interpretación "asociativa": Considera al desarrollo como una asociación entre actores públicos y privados, en la que los Estados y las organizaciones internacionales trabajan con empresas líderes de las cadenas para actualizar a los proveedores locales, garantizar un trato justo de los trabajadores, adoptar prácticas comerciales sostenibles para el medio ambiente y apoyar las

inversiones en las comunidades. En este enfoque, se reconoce el papel esencial de los actores del sector privado en el desarrollo y la necesidad de aprovecharlos para lograr los objetivos de desarrollo que involucran a las partes interesadas locales y las prioridades nacionales.

El marco analítico general establece cuatro factores que influyen sobre la cadena (*input-output*, geografía, gobernanza e instituciones), siendo la gobernanza, el factor más estudiado (Sturgeon, 2011). Adicionalmente, contempla el análisis de posibilidades de inserción o “up-grading” en las cuales se establecen estrategias para el crecimiento y desarrollo (Gereffi G., 2005).

La gobernanza se define por las estrategias de diferentes “empresas líderes” en las industrias globales, las cuales tienen el poder, dado su tamaño y control sobre activos corporativos clave (como capital de inversión, tecnología, experiencia gerencial y canales de comercialización), para dirigir las actividades de las redes de empresas dispersas internacionalmente que conforman sus cadenas de suministro globales (Gereffi G., 2019). El enfoque de gobernanza de las cadenas estudia la asignación de recursos, actividades y beneficios entre los integrantes de la cadena distinguiendo tres formas de economías en red como distintas formas de gobernanza intraempresarial: cautiva, relacional y modular (Sturgeon, 2011) y cinco tipos básicos de gobernanza en la cadena de valor: de mercado, modulares, relacionales, cautivas y jerárquicas (Gereffi, Humphrey, Sturgeon, 2005).

La estrategia de escalamiento económico o *up-grading* se refiere a la manera en la que empresas, países o regiones buscan modificar la posición que ocupan en la cadena de valor hacia actividades de mayor valor agregado para aumentar los beneficios – ganancias, seguridad, valor agregado, capacidades, entre otros – (Gereffi & Fernández-Stark, 2016). El escalamiento no sólo depende del desempeño individual de cada actor de la cadena, sino que está determinado por el funcionamiento de toda la cadena y por el nivel de coordinación y colaboración existente entre los actores (Fernández-Stark & Gereffi, 2011), así como de las combinaciones de políticas públicas, instituciones, estrategias corporativas, tecnologías y habilidades de los trabajadores asociados con la mejora.

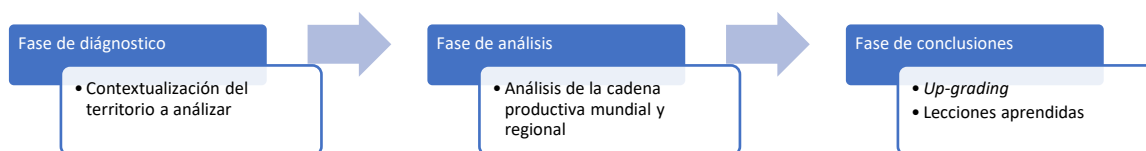
La definición de las estrategias de *up-grading* varían dependiendo de los actores involucrados y la orientación que se emplee durante la realización del análisis de CGV. No obstante, se ha identificado que las especificidades de las tecnologías, de las industrias, las sociedades y sus respectivos condicionamientos históricos tienen el potencial de ser determinantes para moldear el desarrollo relativo de los territorios, empresas y trabajadores (Sturgeon, 2011). Además, es importante considerar el terreno de juego asimétrico y las variables político-institucionales que definen desde dentro las posibilidades de ascenso (Sandoval Cabrera S. V., 2012).

Los patrones y efectos de la integración global dependen de las características de las industrias que se manifiestan en particularidades técnicas y prácticas empresariales, relaciones de poder entre actores de la cadena y fuera de la cadena, características del ambiente institucional y social del medio en el cual se asientan (Sturgeon, 2011). Dadas estas condiciones endógenas, “la estrategia diseñada por países y firmas definirá una inserción activa o pasiva en las redes del comercio mundial que expresan la nueva división internacional del trabajo” (Sandoval Cabrera S. V., 2011). En este sentido, una inserción activa podría permitir una dinámica de escalonamientos sucesivos que conduzcan a la participación creciente en los flujos de valor, mientras que la inserción pasiva implicaría regresión o estancamiento (ibid.).

C. Metodología

Para la realización de este trabajo se aplicó la metodología de desarrollo económico local (DEL) y Cadenas Globales de Valor desarrollada por Centro de Globalización, Gobernanza y Competitividad y publicada por el Banco Interamericano de Desarrollo. Esta metodología corresponde a una variación de la interpretación asociativa de las cadenas de valor, la cual conecta el *up-grading* a nivel micro con el *up-grading* meso, macro y global contemplando el análisis a través de tres fases (diagnóstico, análisis y conclusiones) y destacando la importancia de seleccionar los indicadores adecuados para el estudio de los diversos segmentos de la cadena y dimensiones de análisis (económica, social y medio ambiental), los cuales sirven para diseñar la estrategia de *up-grading* (Fernández-Stark & Gereffi, 2011). Bajo estos criterios, el presente trabajo contempla los siguientes criterios de análisis:

Figura 4 Fases de la investigación



Fuente: Elaboración propia

1. Fase de diagnóstico.

Propósito: Contextualizar las condiciones territoriales del lugar de estudio. Esta fase contempló el estudio territorial compuesto por el análisis de la geografía y demografía, gobernanza, contribución del territorio a la producción eléctrica nacional, los riesgos ambientales de la región, condiciones de innovación del estado, el desarrollo humano y social de la región.

Métodos de investigación y fuentes: Se buscó y analizó información en fuentes oficiales relacionadas con las condiciones de la geografía y demografía del estado, en las bases de datos

estatales relacionadas con la producción de energía y las aportaciones económicas del sector al estado y los índices de competitividad estatal (INEGI 2015, PRODESEN 2019-2033, IMCO, Bases de datos de SENER)

2. Fase de análisis

Propósito: Analizar la industria global, la industria local y las posibilidades de *up-grading* de esta última.

Métodos de investigación y fuentes: Se analizó la cadena productiva. En este análisis se incluyó la descripción general de la cadena productiva (descripción de la industria, estructura de la cadena global, organización local del sector productivo y gobernanza de la cadena de valor), el análisis de las condiciones institucionales de la cadena y el análisis de *up-grading* en diálogo con el planteamiento del trilema energético para establecer los criterios de sustentabilidad.

Para ello, se revisaron los análisis de cadenas de valor global previos provenientes de diferentes instituciones y se homologaron las fases de las cadenas en una sola²⁶. La homologación se realizó considerando dos puntos críticos, por un lado, la posibilidad de escalar a la industria en la región (considerando que una de las ocho empresas ensambladoras de módulos de país se encuentra en el estado) y, por otro lado, la posibilidad de expandir el uso de energía solar fotovoltaica en la región. Estas conceptualizaciones son relevantes dado que las formas de gobernanza en estas fases muestran un cambio abrupto, ya que la primera fase requiere de un análisis del mercado mundial, mientras el segundo hace referencia a mercados locales.

Posteriormente se realizó la revisión de los análisis de cadenas de valor locales previos y proyectos cuyo fin haya sido incentivar a la industria energética a nivel local. Algunos de los estudios a analizar son la *Agenda de Innovación del Estado de Oaxaca de CONACYT*, la *Evaluación de Necesidades Regionales 2 (Estados: Chiapas, Guerrero y Oaxaca)*, el *Plan de Desarrollo de Proveedores en las Cadenas Productivas de la Industria Eléctrica en el Sector de las Energías Alternativas en el Estado de Oaxaca* y el *Plan de Trabajo del Clúster de Energía Renovable del Estado de Oaxaca*.

En particular, se consideró la dimensión institucional local y a los tomadores de decisiones debido a la relevancia de las políticas públicas en el marco del trilema energético para impulsar la expansión de las energías renovables; así como la relevancia de esta última en el marco del análisis de cadenas globales de valor para el desarrollo local.

²⁶ Algunas de las cadenas de valor empleadas para la homologación fueron generadas por la Agencia del Gobierno Federal Alemán para el desarrollo (GIZ por sus siglas en alemán), la Secretaría de Energía y por el Duke Global Value Chains Center.

3. Fase de conclusiones

Propósito: Analizar los principales problemas del territorio para avanzar en la producción de energía, la forma en que el desarrollo de la industria global influye en la industria local, las condiciones de la industria de Oaxaca en comparación con la política energética nacional y las tendencias internacionales.

Métodos de investigación y fuente: Se examinaron las barreras geográficas y sociales para el desarrollo de la industria en Oaxaca y se analizó la política energética nacional, así como las tendencias internacionales para determinar el nivel de influencia de estas últimas en el país y por ende en Oaxaca. Para la realización de esta fase se obtendrán informes de IEA, IRENA, REN21 y WEC, así como se obtendrán las leyes provenientes del Diario Oficial de la Federación.

La investigación, la recopilación y el análisis de información se realizó a través de fuentes de información primaria (entrevistas en campo con los actores locales de Oaxaca) y secundaria (informes, artículos científicos y reportes). Los entrevistados fueron seleccionados de acuerdo con los siguientes criterios: 1) capacidad de tomar decisiones sobre la industria solar fotovoltaica, 2) aporte que puede generar a la industria, 3) implementadores de proyectos socialmente exitosos y 4) registro y formalización de las organizaciones. En total, se realizaron 10 entrevistas a 13 instituciones privadas, académicas y gubernamentales de la región. Adicionalmente, como parte del mismo análisis, se tomaron en consideración las notas y respuestas de las entrevistas recopiladas durante la Evaluación de Necesidades Regionales 2 de la Secretaría de Energía (Biosfera Desarrollos & Coenergía, 2017). Para mayor detalle sobre la priorización de actores revisar el *Anexo 1. Metodología para la priorización y selección de entrevistados*.

En términos de presentación, el trabajo se divide en dos capítulos en los cuales se presentará la información de la siguiente manera:

- **Capítulo 1. Análisis de la industria global y cadena de valor global.** – Se contextualizará la industria de energía solar fotovoltaica a nivel mundial y analizará la cadena de valor de la industria fotovoltaica (considerando que el insumo principal para la generación de energía solar fotovoltaica es el panel fotovoltaico²⁷).

²⁷ La generación de energía por medio de celdas fotovoltaicas requiere de insumos extras a los módulos, sean los inversores, las bases de aluminio para colocarlos y los cables solares. Para efectos de la presente tesis, se considera al panel fotovoltaico como insumo principal para la generación de energía solar y el análisis de cadena de valor, principalmente en la parte de producción y ensamblaje; además se da prioridad al análisis de este insumo y considera de forma parcial los demás insumos como requerimientos para su instalación.

- **Capítulo 2. La cadena local de Oaxaca: análisis de *Up-grading*.** – Se describirán las condiciones territoriales de Oaxaca, así como la industria de energía solar fotovoltaica en el estado. Finalmente, se analizarán las posibilidades de *up-grading* de la industria en tres niveles: el económico, el social y el ambiental.

III. OBJETIVOS Y PREGUNTA

A. Preguntas

Dadas las condiciones actuales del estado de Oaxaca, ¿qué condiciones de producción y consumo de energía solar podrían impulsar el crecimiento y desarrollo sostenible en Oaxaca? ¿Cuáles son los segmentos de la cadena global de valor de la energía solar fotovoltaica que definen oportunidades de crecimiento para los agentes económicos de Oaxaca?

B. Objetivo general

Caracterizar las condiciones de la industria de energía solar fotovoltaica a nivel internacional, y local (en el estado de Oaxaca), para identificar a las empresas Oaxaqueñas relacionadas con el sector energético solar y evaluar las posibilidades de su integración y *up-grading* a la cadena global de valor de la industria en términos de integración espacial -localización de segmentos de la cadena en la entidad-, de mano de obra -creación de empleos- y empresas mexicanas participando en algún segmento de la cadena en territorio nacional o extranjero considerando las condiciones actuales de política pública.

C. Particulares

- Caracterizar las condiciones de la industria energética internacional, nacional y regional de Oaxaca
- Identificar a las empresas Oaxaqueñas relacionadas con el sector energético solar
- Realizar el análisis de *up-grading* de las empresas localizadas en el Estado, considerando las condiciones de política pública actual.

IV. HIPÓTESIS

Las empresas que participan en la cadena de energía solar fotovoltaica en Oaxaca puede expandir su desarrollo en los segmentos 1) ingeniería, construcción e instalación principalmente a través de la generación distribuida de energía de mediana y pequeña escala y en 2) operación y mantenimiento.

El desarrollo de estas actividades requiere del fortalecimiento del segmento de planeación, particularmente del área de financiamiento y de un marco político que permita el desarrollo de la generación de energía de forma distribuida. México presenta posibilidades de up-grading en el eslabón de desmantelamiento y reciclaje teniendo como requerimientos el desarrollo de políticas energéticas sólidas que permitan su desarrollo.

CAPÍTULO 1. ANÁLISIS DE LA INDUSTRIA GLOBAL DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

A. Descripción general de la industria

Definimos a la industria de energía solar fotovoltaica como el grupo de organizaciones que realizan operaciones para obtener, transformar o transportar la energía del sol, y emplean tecnologías que producen electricidad usando materiales fotovoltaicos basados en semiconductores (Bloomberg Finance, 2020).

La industria de la energía solar fotovoltaica se considera transitoria entre la etapa de crecimiento y madurez del ciclo de Vernon y presenta beneficios en términos de acceso y sustentabilidad para la producción y adquisición de energía debido a que los precios se encuentran en constante baja. Es decir, la energía solar fotovoltaica se considera una opción viable para el abastecimiento barato, limpio y con posibilidades de expansión de energía no solo dentro de las redes sino también de forma autónoma. El sistema fotovoltaico (SSF²⁸), es el encargado de producir energía y, a grandes rasgos, está compuesto por módulos solares fotovoltaicos (módulos fotovoltaicos²⁹), regulador de carga³⁰, baterías³¹, inversores³², soportes³³ y cables solares, como se muestra en la

²⁸ Un sistema fotovoltaico es el conjunto de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que concurren para captar y transformar la energía solar disponible, transformándola en utilizable como energía eléctrica. Estos sistemas, independientemente de su utilización y del tamaño de potencia, se pueden dividir en dos categorías: aislados (*stand alone*) y conectados a la red (*grid connected*).

²⁹ Un módulo es un conjunto de celdas fotovoltaicas que transforman la radiación solar en energía eléctrica a través del efecto fotoeléctrico. Los módulos actualmente posicionados en el mercado son hechos a base de silicio. Existen al menos cuatro tipos de celdas fotovoltaicas que pueden componer un panel, y las cuales se diferencian por el costo, el porcentaje de aprovechamiento de la energía y las purezas del silicio (celdas amorfas – precio elevado, 5 a 7% de aprovechamiento de la energía, y silicio bruto sin pulir –, celdas policristalinas – 5 a 7 % más baratas que las monocristalinas, 14 a 16% de aprovechamiento de la energía, y silicio con impurezas –, celdas monocristalinas – 5 a 7 % más baratas que las monocristalinas, 20 a 22% de aprovechamiento de la energía, y silicio sin impurezas) (SDE México, 2020), y celdas de película delgada – la cual consiste en la combinación de azufre, silicio amorfo, telurio, cadmio, cobre, indio, galio y selenio, el objetivo de realizar estas combinaciones es disminuir los costos de las celdas fotovoltaicas debido a la escasez de silicio puro.

³⁰ Componente que administra la energía que fluye hacia las baterías. Permite prolongar la vida útil de las baterías y protege al sistema de sobrecargas y sobredescargas.

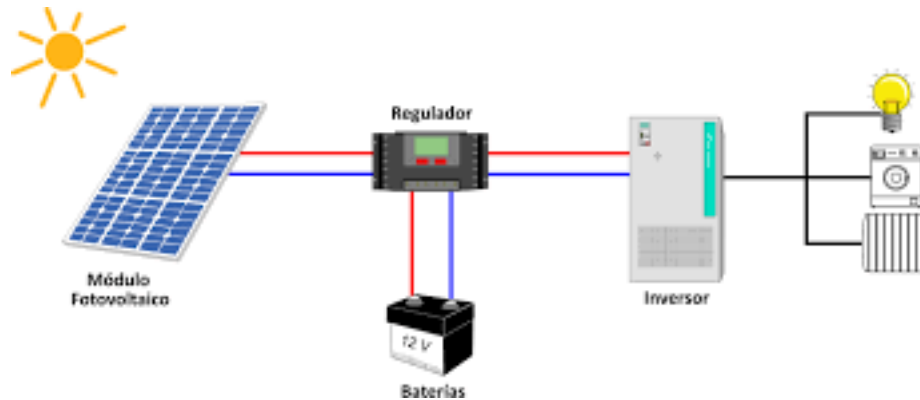
³¹ Componente encargado de almacenar la electricidad generada

³² Componente que convierte la corriente directa y bajo voltaje (proveniente de las baterías) a corriente alterna.

³³ Componente encargado de mantener los módulos fotovoltaicos en su lugar.

Figura 5.

Figura 5 Componentes de un sistema fotovoltaico



Fuente: Abril Olaya, F y Buitrago Quintero, G. Tesis: Diseño e implementación de sistema fotovoltaico de bajo costo para alimentar un circuito cerrado de televisión. 2016.

Pese a la relevancia de todos estos insumos, el panel fotovoltaico es el elemento clave para la generación de energía y representa, dependiendo del tipo de módulo empleado, un aproximado del 70% del costo de un sistema fotovoltaico (Green Rhino Energy, 2020). En el mismo sentido, la extracción del polisilicio y la producción de obleas de silicio tienen una mayor influencia dentro de la fabricación de un módulo³⁴ (Green Rhino Energy, 2020). Dados los requerimientos para la fabricación de los insumos clave, la industria de energía solar fotovoltaica tiene mayor posibilidad de desarrollarse en ubicaciones geográficas con facilidad de acceso a la extracción y procesamiento de silicio.

Figura 6 Costo de los componentes de un sistema fotovoltaico.



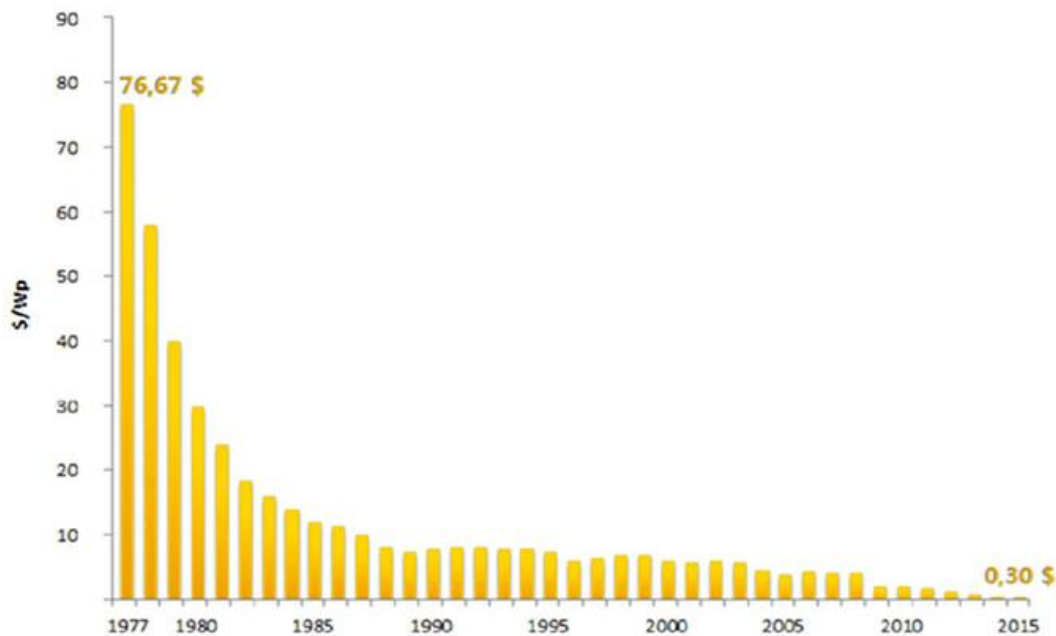
Fuente: Green Rhino Energy. Traducción propia

³⁴ Green Rhino Energy contempla el 70% de costo de un sistema fotovoltaico usando módulos de silicio cristalino, mientras, en los módulos de película delgada los costos de material son menores y otros componentes para los sistemas de montaje pueden ser más caros.

B. Tendencia del consumo y producción de energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica presenta una tendencia creciente de consumo y producción a nivel mundial, principalmente por la caída del precio de las celdas fotovoltaicas³⁵ (Figura 7). De acuerdo con los reportes de 2018 y 2019 de la IEA y REN 21, la demanda de la energía solar se está expandiendo y convirtiéndose en la opción más competitiva en el mercado energético mundial³⁶ (Figura 8). Tan solo en 2017 se estimó que la capacidad fotovoltaica acumulada representaba alrededor del 2% de la producción de energía global³⁷ (IEA, 2018). De acuerdo con diversos autores, las aplicaciones causantes de dicho escalamiento son las residencias, los comercios y los proyectos de servicios públicos³⁸ (IEA, 2018; REN21, 2019).

Figura 7 Precio de las celdas fotovoltaicas de silicio cristalino (\$USD/Wp)



Fuente: Bloomberg New Energy Finance & PV Energy Trend

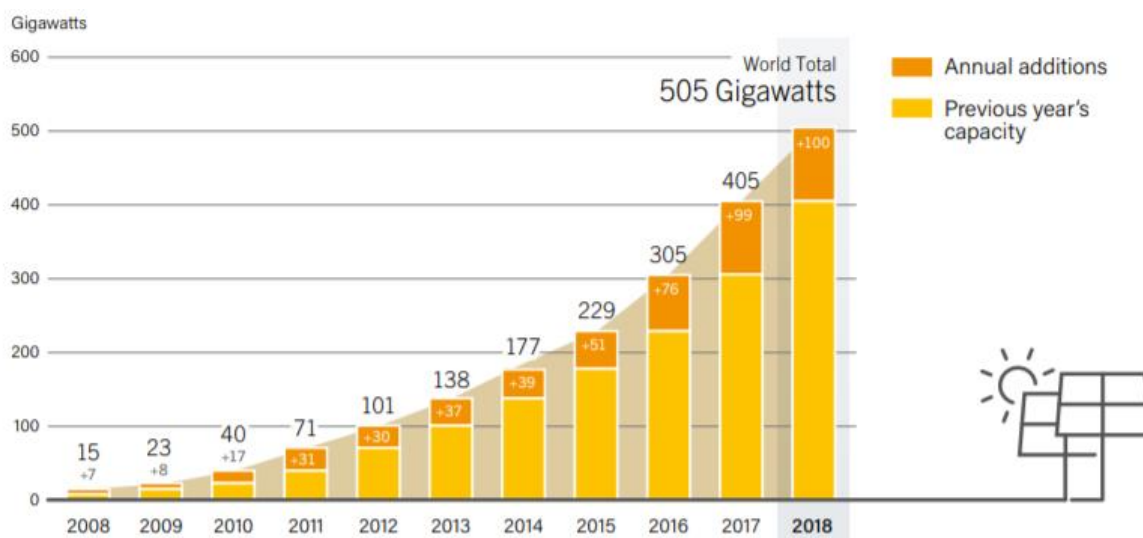
³⁵ La tendencia general de los precios de los módulos es a la baja. En 2018, disminuyeron aproximadamente un 29% en 2018, con respecto al año anterior, a un promedio global de 22.4 centavos por vatio. Situación que ayudó a reducir el costo de instalación de 1 MW de energía solar fotovoltaica en un promedio del 12% (REN21, 2019). Es importante mencionar que el mercado de módulos solares es dinámico y competitivo, el cual se ve altamente influenciado por barreras comerciales, como los aranceles, entre los diversos productores.

³⁶ La REN 21 identifica que la capacidad acumulada de la energía solar en 2018 aumentó aproximadamente un 25% (al menos 505 GW) en comparación con una capacidad global total de alrededor de 15 GW solo una década antes (REN21, 2019)

³⁷ La IEA estima que la capacidad fotovoltaica acumulada generó más de 460 TWh en 2017

³⁸ El incremento del consumo de la energía fotovoltaica se ve reflejada en poco más del 60% en proyectos de servicios públicos, y el resto en aplicaciones distribuidas (residenciales, comerciales y fuera de la red) (IEA, 2018).

Figura 8 Capacidad global de Energía Solar Fotovoltaica y adiciones anuales, 2008-2018



Fuente: REN21. Renewables 2019 Global Status Report. 2019. NOTA. Datos proporcionados en corriente directa (DC). Los totales pueden no coincidir debido al redondeo.

Se espera que entre 2023-2024, la energía solar fotovoltaica lidere el crecimiento de la capacidad de electricidad renovable, expandiéndose en casi 580 GW ³⁹ (IEA, 2018). No obstante, la expansión de este tipo de energía como potencial eléctrico mundial enfrenta desafíos relacionados con la inestabilidad normativa en diversos países, la financiarización⁴⁰ y bancabilidad⁴¹, así como de integración de este tipo de energía en los mercados y sistemas de electricidad de manera justa y asequible (REN21, 2019).

Los cinco principales mercados de la industria - China⁴², India, Estados Unidos, Japón y Australia - fueron responsables de aproximadamente tres cuartos de la nueva capacidad instalada en 2018; los siguientes cinco mercados fueron Alemania, México, la República de Corea, Turquía y los Países Bajos. Al final de 2018, los países líderes en capacidad solar fotovoltaica acumulada fueron China, Estados Unidos, Japón, Alemania e India (REN21, 2019).

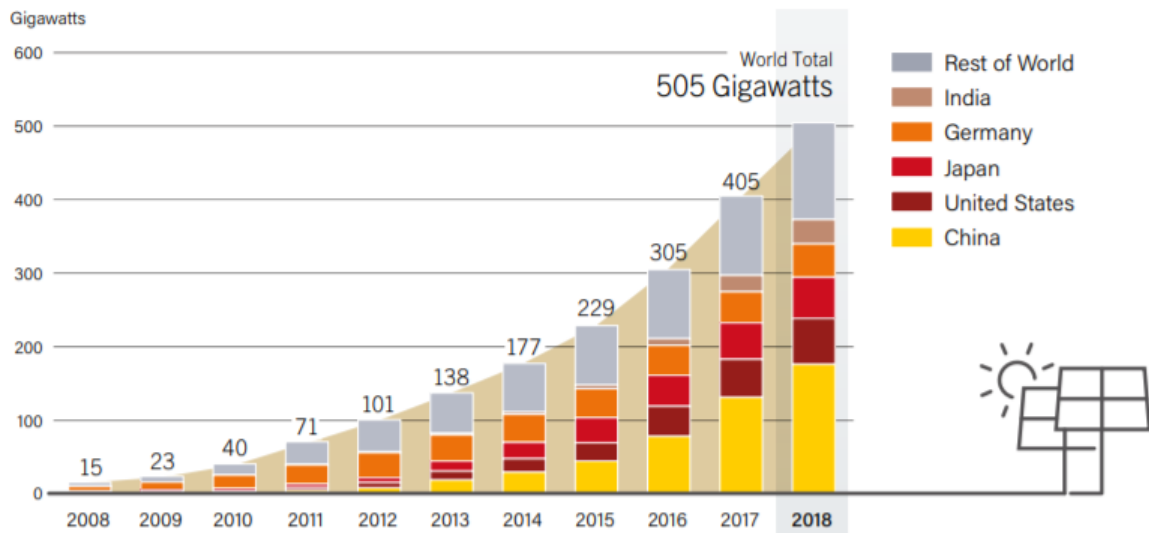
³⁹ Considerando el caso principal del reporte *Renewables 2018* de la IEA.

⁴⁰ Capacidad de un producto de convertirse en un instrumento financiero intercambiable

⁴¹ Capacidad de un proyecto para ser financiable en los proyectos solares esto se evalúa, entre otros factores técnicos, en la confianza en el ejecutor del proyecto, los materiales a emplear, las marcas empleadas y las garantías que existen en los productos a emplear.

⁴² La industria energética en China se ha visto impulsada por 1) condiciones geográficas que le permiten acceder a los insumos críticos para las celdas fotovoltaicas, 2) condiciones socio-demográficas las cuales incrementan la demanda de energía y por ende, hace que el país requiera de más infraestructura energética, 3) condiciones políticas que han permitido la expansión de la consciencia climática (estrategia nacional frente al calentamiento global –2007, Golden-Sun program – 2009, Cumbre de la ONU – 2009), 4) reducción de la producción de carbón y petróleo, y aumento de la importación de estos insumos, y 5) economías de escala que han propiciado la integración vertical en algunos eslabones críticos de su producción de módulos fotovoltaicos

Figura 9 Capacidad global de energía solar fotovoltaica, por país y por región, 2008-2018



Fuente: REN21. Renewables 2019 Global Status Report. 2019. NOTA. Datos proporcionados en corriente directa (DC)

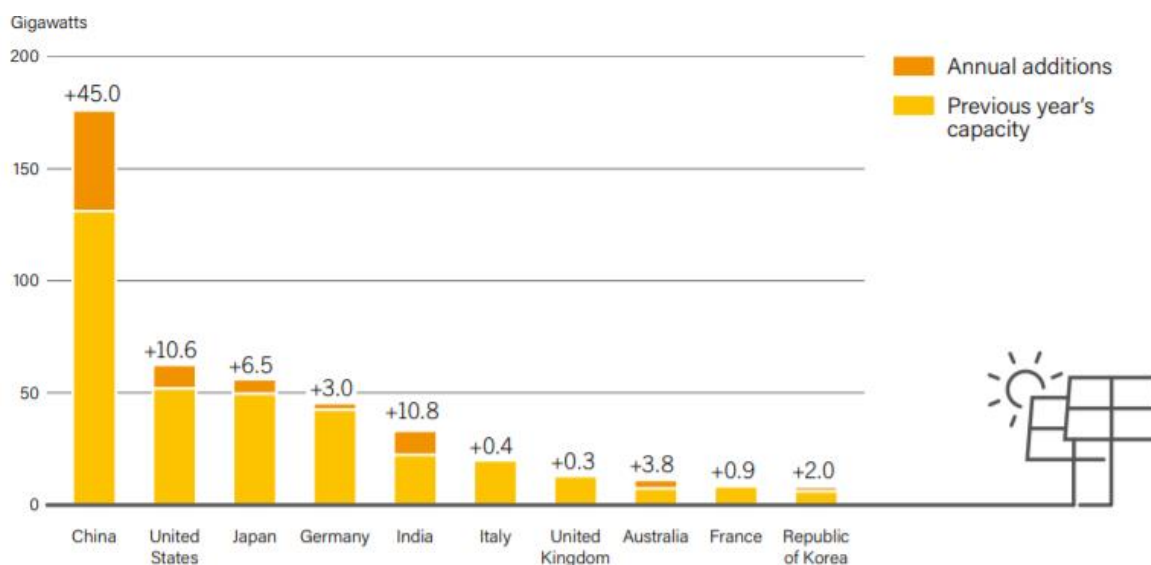
Un punto crítico para el consumo e incremento de la capacidad instalada es la promoción de acciones políticas y de inversiones destinadas a cambiar la oferta y la demanda de energía, como fue el caso del *Golden-Sun program* en China (2009) o el programa de comercio de derechos de emisión ejercido en Estados Unidos durante la administración de Barack Obama. Adicionalmente, es importante mencionar que la implementación de políticas no se refleja de forma inmediata en la capacidad instalada.

I. Tendencia del consumo y producción de energía solar fotovoltaica en México

En el caso de México, las políticas energéticas para promover la transición energética comenzaron en 2016, permitiendo de esta forma, que México resaltara dentro del *Top 10* de nueva capacidad instalada a nivel mundial en 2018. No obstante, la capacidad instalada previa a este periodo no ha permitido posicionar a México dentro del *Top 10* relacionado a capacidad instalada total.

Como en el caso de todos los países, México requiere continuar con la promoción del uso de las energías renovables para que su capacidad instalada de producción de energía a través de fuentes renovables incremente.

Figura 10 Capacidad de energía solar fotovoltaica y adiciones, Top 10 de países. 2018



Fuente: REN21. Renewables 2019 Global Status Report. 2019. NOTA. Datos proporcionados en corriente directa (DC). Los datos de la India son inciertos. México no resalta dentro de la gráfica debido a que se cuantifica capacidad instalada previa a 2018 y capacidad instalada nueva.

C. Condiciones de la industria mundial: las firmas

La industria sola fotovoltaica puede verse desde dos perspectivas: la primera desde el punto de vista de generación de insumos y la segunda desde el punto de vista de instalación. Ambos enfoques requieren de capacidades técnicas diferentes y se desarrollan a escalas distintas.

Desde el punto de vista de generación de insumos, la industria de energía solar es liderada por los países asiáticos, particularmente por China. Esta sección de la industria se caracteriza por tener productos en una fase intermedia entre crecimiento y madurez (ubicados entre la segunda y tercera etapa del ciclo de vida del producto de Vernon); es decir, existe un mercado cuyas ventas se mantienen crecientes y los consumidores están transitando de adaptadores tempranos a mayoría media; no obstante, las empresas compiten por precios y buscan innovar para reducir sus costes e incrementar su tasa de rentabilidad. Hasta el momento, se identifica un liderazgo chino debido a su capacidad de integrarse verticalmente a lo largo de todos los eslabones de relacionados, exceptuando la innovación. La razón de este dominio se debe, por un lado, a su capacidad de producción de silicio y los recursos técnicos, de infraestructura y humanos para purificarlo hasta dejarlo en silicio de grado solar, el cual es el insumo principal para producir las celdas fotovoltaicas y en consecuencia los módulos fotovoltaicos.

De acuerdo con los reportes de la REN21, en 2018 China dominó la producción mundial de *polisilicio de grado solar*; es decir siete de los 10 principales fabricantes (incluyendo los tres principales) fueron empresas con sede en China, de la misma manera, la mayoría de las empresas que dominaron la producción de obleas de silicio fueron empresas chinas. Adicionalmente, muchas de las compañías extractoras de polisilicio también estaban entre los 10 mejores para la producción de celdas. Los 10 principales proveedores de módulos enviaron casi el 60% del total producido en 2018 (REN21, 2019).

El mercado de los módulos fotovoltaicos depende de la capacidad de las empresas para reducir sus costos de producción, es decir existe una inclinación hacia la tecnificación de la producción y a la integración vertical de las empresas. La industria energética es una industria prioritaria en países como China, Estados Unidos y Alemania, por lo que la industria se encuentra altamente influenciada por barreras comerciales (como los aranceles entre los diversos productores), la estandarización de procesos y productos, así como el posicionamiento de las marcas.

Si bien, el mercado es altamente competitivo y cuenta con la participación de países tecnológicamente desarrollados como Estados Unidos, Canadá, Italia e India, la constante disminución de costos y el rápido cambio técnico que se requiere para adaptarse a la industria ha permitido a China posicionarse y mantenerse dentro del *Top 10* de prácticamente todos los segmentos de la cadena relacionados con la generación de insumos por más de dos años consecutivos. Esta condición es relevante, dado que China es un productor con no más de 10 años de posicionamiento en el mercado y cuya característica inicial fue como país seguidor, donde las normas y estándares para la calidad y eficiencia de los módulos que son fabricados fueron establecidas previamente por otros países. De esta forma, China no domina el campo regulatorio y normativo de los módulos, sin embargo, dada su capacidad de producción, las acciones relacionadas a la industria solar en este país le permiten tener alto impacto en los precios y producción a nivel mundial. Dos ejemplos de estas condiciones se ven reflejados en la explosión de las plantas de polisilicio en 2020 y la restricción de demanda interna de módulos chinos en 2018.

En julio del 2020, durante dos días seguidos se suscitaron cinco explosiones en la planta de GCL, una de las diez productoras más importantes de polisilicio a nivel mundial y una de las principales proveedoras para los fabricantes de módulos solares que no se encuentran verticalmente integradas. Las explosiones dejaron fuera de servicio una capacidad de producción de 50 toneladas en un periodo de 3 a 6 meses, disminuyendo la capacidad de producción mundial en 10% (PV Magazine, 2020). Esta situación aunada al incendio de otra fábrica de polisilicio en China y a la contingencia mundial

y sus rebrotes en la provincia de Xinjiang en China, han derivado en un aumento del 60% del precio del polisilicio⁴³ en agosto de 2020 (Review Energy, 2020).

Como hemos visto en las tendencias de consumo, China es uno de los países que más consume módulos fotovoltaicos a nivel mundial. En 2018, el gobierno chino estableció una política en la que restringía la demanda interna de módulos chinos, promoviendo con ello que los productos destinados al mercado chino buscaran nuevos mercados inundando el mercado global. La sobreoferta resultante de *celdas* y módulos redujo los precios y ayudó a abrir nuevos mercados importantes, lo cual contrarrestó el declive de las instalaciones de estos productos en China. A consecuencia de estas condiciones, la capacidad de producción de celdas y módulos se mantuvieron en continuo aumento y los precios de subasta en récords, impulsados por los precios más bajos del panel y la intensa competencia (REN21, 2019). Estas acciones afectaron a la industria, debilitando las líneas de proyectos en India y el crecimiento en los Estados Unidos por lo que se desataron disputas comerciales mediante el incremento de aranceles en India y Estados Unidos. No obstante, la competencia y las presiones de los precios llevaron a los países a incrementar la inversión en una nueva capacidad de producción más eficiente y a desarrollar continuos avances en la tecnología solar fotovoltaica. Estas inversiones favorecieron a China, al ser uno de los inversionistas principales (REN21, 2019).

Desde el punto de vista de instalación, la industria de energía solar se rige por condiciones de precio y por regulaciones del mercado local; puede ser en dos escalas: a nivel macroproyectos, o medianos y pequeños proyectos. En el caso de los macroproyectos, cada país establece los requerimientos técnicos y hace la gestión para la implementación de los proyectos de forma tal que puedan añadirse a sus sistemas energéticos nacionales (en el caso de México estos proyectos se promueven a través de las subastas energéticas). En estos proyectos suelen participar empresas instaladoras de gran escala y con grandes capacidades para el diseño y ejecución de proyectos, dejando la instalación y actividades de bajo valor añadido a los trabajadores locales.

En el caso de los medianos y pequeños proyectos, las instalaciones, diseño y mantenimiento se realizan a través de mano de obra local. Dados los pequeños volúmenes de consumo, no son capaces de modificar las tendencias del mercado y deben adaptarse a los productos existentes. Adicionalmente, no requieren de capacidades técnicas altamente especializadas debido a que las instalaciones se rigen ante estándares de conexiones eléctricas internacionales y que son de fácil transmisión y comprensión. Pese a estas condiciones, las empresas aquí posicionadas son elementos

⁴³ El precio de referencia fue el precio en junio de 2020.

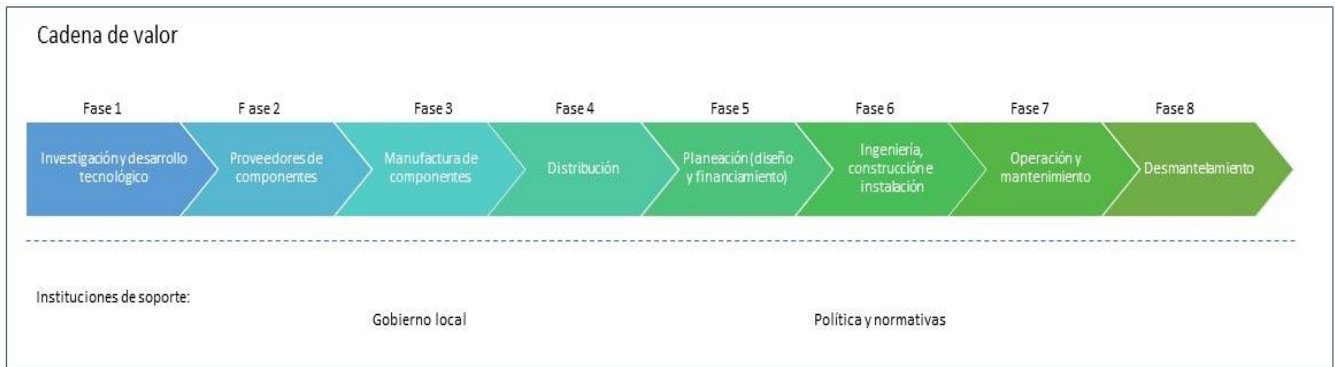
críticos, principalmente para los países en vías de desarrollo, debido a que permiten la expansión de servicios de electricidad en empresas y hogares, además de permitir el acceso a energía en zonas alejadas de la red eléctrica nacional (instalaciones *out of the grid* o de generación distribuida).

Para el análisis de la industria y de la cadena global de valor, consideraremos estas dos perspectivas, comenzando primeramente por las condiciones para la sección de generación de insumos y posteriormente se realizará el análisis de la sección de instalación. Como mencionamos anteriormente, la escala de los proyectos conlleva condiciones diferentes de mercado y deriva en condiciones diferentes de desarrollo. Para el caso de este trabajo, nos enfocaremos en el desarrollo de proyectos de mediana y pequeña escala, los cuales podrían detonar cambios específicos en el desarrollo del estado de Oaxaca.

D. La cadena de valor de la energía solar fotovoltaica

Dada la relevancia del módulo fotovoltaico para la generación de energía, acotamos el análisis de la cadena de valor de la industria fotovoltaica a estudiar los diferentes procesos necesarios para diseñar, crear, utilizar y desechar un panel fotovoltaico⁴⁴ (Figura 11).

Figura 11 Cadena de valor de la industria solar fotovoltaica



Fuente: Elaboración propia con información de los análisis de la cadena de valor de la GIZ, la SENER y la Universidad de Duke.

NOTA: A partir de la fase 5, las actividades pueden realizarse a gran escala (macro-proyectos), en las que participan las empresas multinacionales, o a pequeña y mediana escala, en las que se involucran los actores locales.

⁴⁴ Se considera el análisis únicamente para los módulos fotovoltaicos policristalinos y monocristalinos, cuyo insumo principal es el silicio. No se considera el reciclaje de las celdas de nueva creación y orgánicas, puesto que 1) aún no se encuentran a nivel de comercialización y 2) el tiempo de vida de las celdas fotovoltaicas actualmente instaladas sigue vigente y en los próximos años requerirán de un proceso de reciclaje.

Como se verá a lo largo del análisis, las secciones pertenecientes a la generación de insumos van de la fase 1: investigación y desarrollo tecnológico hasta la fase 4: distribución. Diversas actividades entran en el proceso de generación de insumos de la industria solar (*Figura 12*). Como resultado, existen una gama de empresas de diferentes sectores que proporcionan a las empresas de energía solar todo tipo de componentes, entre ellos la proveduría de insumos como productos químicos, metales, vidrio, entre otros (GIZ & ANME, 2013).

La primera sección de la cadena de valor se centra en la recolección de silicio y su manipulación para crear silicio de grado solar, los procesos para formar lingotes y con ellos obtener las celdas fotovoltaicas. De esta forma, existe una ventaja competitiva de los países que tienen capacidades técnicas y de infraestructura para realizar estas actividades. Posteriormente, se realiza el ensamble de los módulos fotovoltaicos y se busca su distribución.

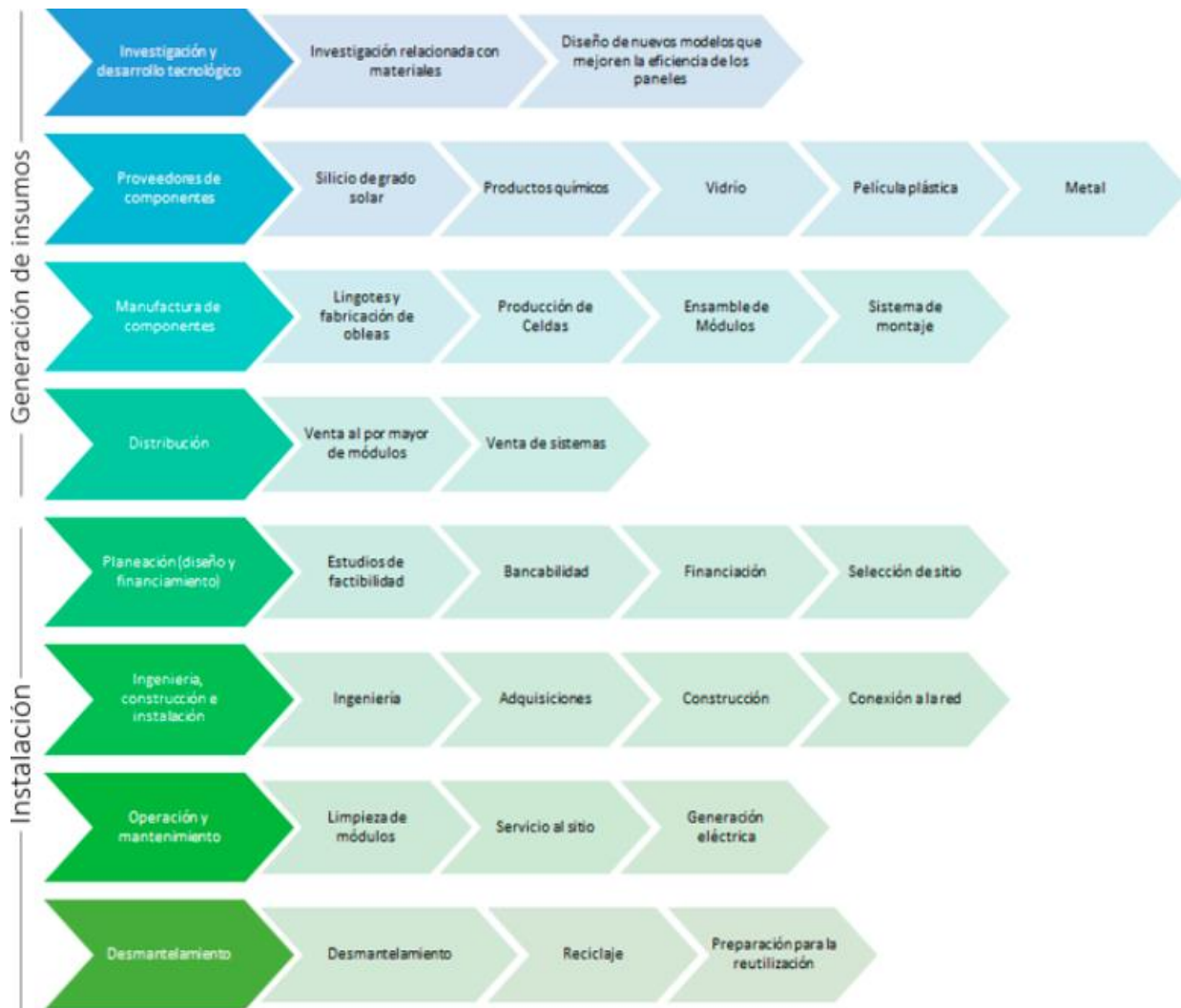
Al terminar la fase de distribución, comienza la sección de instalación de módulos, la cual abarca de la fase 5: planeación, diseño y financiamiento hasta la fase 7: operación y mantenimiento. Dicha sección contempla la participación de organizaciones instaladoras, las cuales realizan estudios de prefactibilidad, factibilidad y bancabilidad, así como ingeniería, adquisición, contratación, construcción y servicios de instalación del sistema y de la conexión a la red.

Las operaciones y el mantenimiento los realiza un desarrollador de proyectos, un subcontratista o una empresa de servicios públicos, y estas operaciones no requieren mucho capital ni mano de obra. Sin embargo, los inversores deben reemplazarse cada siete a diez años. Los costos incluyen limpieza de módulos, mantenimiento de UPS, alquiler y mantenimiento (GIZ & ANME, 2013).

El proceso final de los proyectos se relaciona al desmantelamiento del sitio y el reciclaje de los componentes.

Para el caso de esta cadena en específico, identificamos que en la sección de instalación (compuesta por la distribución, planificación, ingeniería, construcción, instalación, operación, mantenimiento y desmantelamiento) se genera una mayor proporción de empleos (GIZ & ANME, 2013). Además de que los requerimientos científicos y tecnológicos requeridos para esta sección de la cadena es menor que para la sección de generación de insumos.

Figura 12 Actividades relacionadas con cada eslabón de la cadena de valor de la industria solar fotovoltaica



Fuente: Elaboración propia

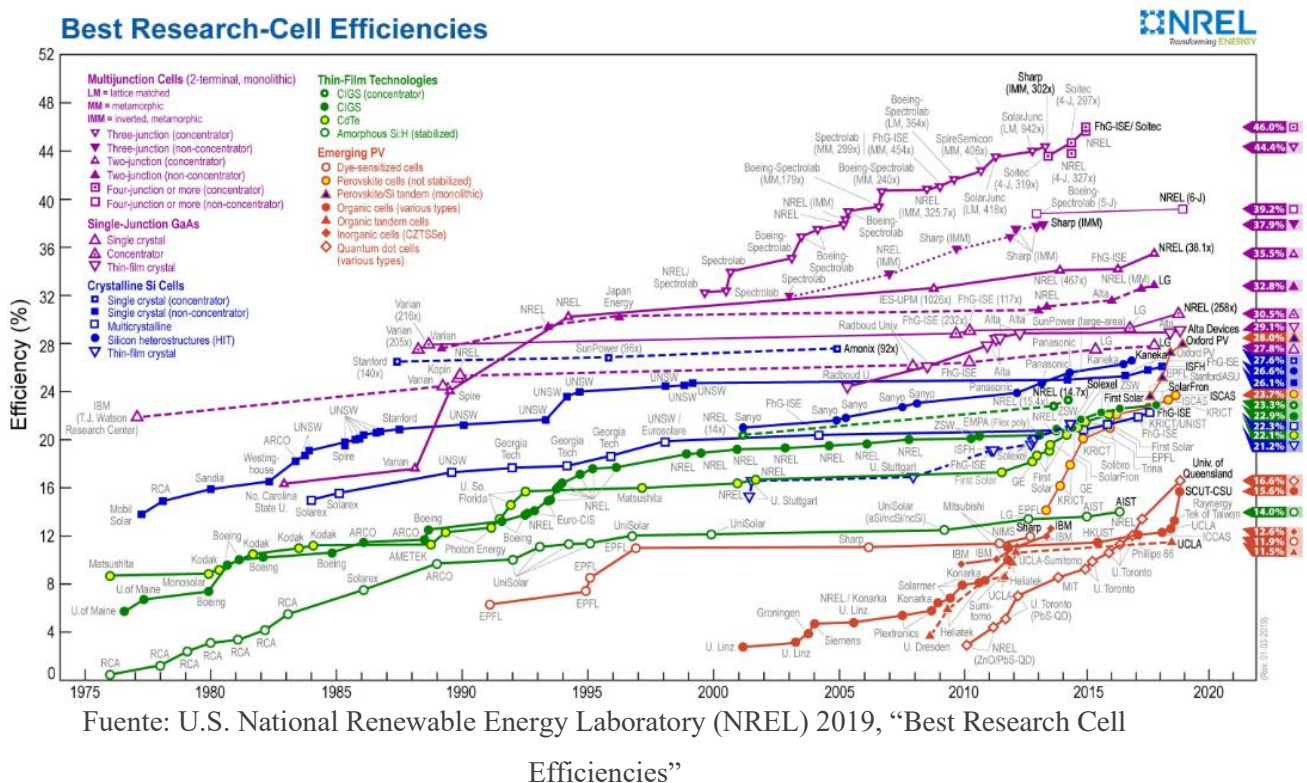
Como hemos mencionado con anterioridad, el producto y los servicios derivados de ésta se encuentran en una fase de transición entre el crecimiento y la madurez ciclo de producto de Vernon, por lo que la mayoría de las etapas se ven afectadas por la disminución de los precios y la presión para reducir los costos a fin de obtener mayor rentabilidad. Adicionalmente, se identifican empresas que son capaces de integrarse de forma vertical en una de las dos secciones de la cadena (generación de insumos o instalación), sin embargo, no se observa algún caso de una integración vertical completa a lo largo de toda la cadena. (Green Rhino Energy, 2019).

I. Investigación y desarrollo tecnológico

La fase de investigación y desarrollo tecnológico contempla la producción y acumulación de conocimiento para realizar mejoras a los productos fotovoltaicos, particularmente en la eficiencia de

las celdas⁴⁵ y sus formas de producción. La industria solar es una industria con *tecnología madura* delimitada por precios y cuyo objetivo es reducir costos para obtener mayores rendimientos. Como hemos observado en las tendencias del mercado, el precio de las celdas basadas en silicio tiende a disminuir cada vez más, presionando cada vez más a los productores a mejorar sus procesos a través de estrategias de producción a escala. No obstante, uno de los limitantes principales para la reducción de costos es la materia prima: el silicio, cuyas características de pureza requieren alta especialización en el personal e infraestructura muy sofisticada, provocando que exista un grupo, por lo general verticalmente integrado, que limite el acceso de instituciones que no pueden cumplir los requerimientos técnicos de purificación o los requerimientos financieros para obtener la infraestructura necesaria. Estas condiciones han generado que las tendencias de investigación se dirijan hacia celdas compuestas por otro tipo de materiales diferentes al silicio (Figura 13).

Figura 13 Tabla de registro de eficiencia en la de celdas fotovoltaicas en proceso de investigación



La posibilidad de poder desarrollar celdas de alta eficiencia que sean estables y puedan ser producidas mediante elementos diferentes al silicio da apertura a una dependencia menor a la compra de

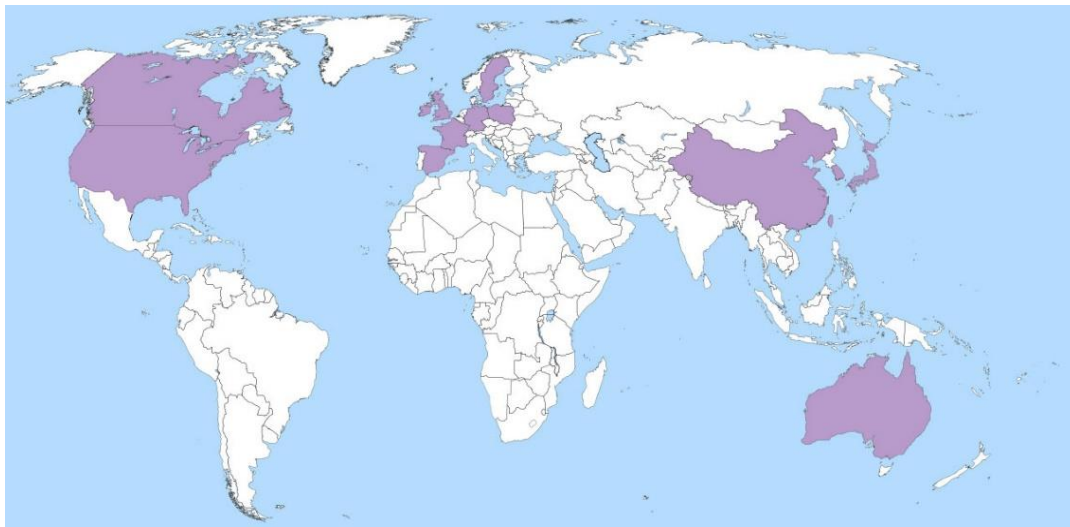
⁴⁵ Hasta el momento, la eficiencia de conversión de energía en los módulos monocristalinos y policristalinos es de aproximadamente 15-20%, mientras que las celdas experimentales presentan una conversión entre los 20-25%, dependiendo del fabricante (Figura 13). En 2019, Trina Solar anunció su récord de eficiencia de 23.22% de conversión.

materiales a China, quien es el país que domina en los primeros cuatro eslabones de la cadena de valor.

El desarrollo de estas tecnologías requiere de conocimientos muy específicos e infraestructura cuyos requerimientos son técnicamente estrictos, por lo que estas investigaciones se realizan por medio de asociaciones y acuerdos de colaboración muy específicos.

El seguimiento de patentes relacionadas con este tipo de tecnologías permite identificar siete mercados importantes donde la investigación y desarrollo de estas tecnologías se encuentra en auge: Estados Unidos, Alemania, Italia, Canadá, China, Japón, Corea, Taiwán. Adicionalmente, existen algunos actores que han realizado innovaciones tecnológicas en Canadá y Australia. Sin embargo, la tecnología desarrollada aún no permite la estabilidad técnica para garantizar su comercialización.

Figura 14 Países que generan la investigación y desarrollo tecnológico de la industria solar



Fuente: Elaboración propia

Este eslabón de la cadena de valor requiere de acumulación de conocimiento previo y el desarrollo de habilidades de investigación e innovación. La tendencia hacia la instalación de este tipo de tecnologías es mayor en los países en vías de desarrollo, no obstante, se presenta una mayor cantidad de inversión en investigación y desarrollo en los países desarrollados debido a que en estos el porcentaje de utilización de las energías solares, en relación con el total de energía, es mayor que en los países en desarrollo.

Otra diferencia importante es que en los países desarrollados existe una cultura de expectativas positivas respecto de las energías renovables que se expresa en consumo de productos y servicios y, en consecuencia, se crea la necesidad de agregar valor a esas mercancías mediante la protección

intelectual. En cambio, en los que están en desarrollo lo que más cuenta es el costo de la energía y su capacidad de impulsar los planes de desarrollo (Rivas Mira, 2006).

Tabla 1 Factores de éxito y barreras de entrada a las empresas en la investigación y desarrollo tecnológico

Factores de éxito de las empresas	Personal con capacidades técnicas, infraestructura adecuada, financiamiento
Barreras de entrada al eslabón	Conocimiento, infraestructura, inversión

Fuente: Elaboración propia

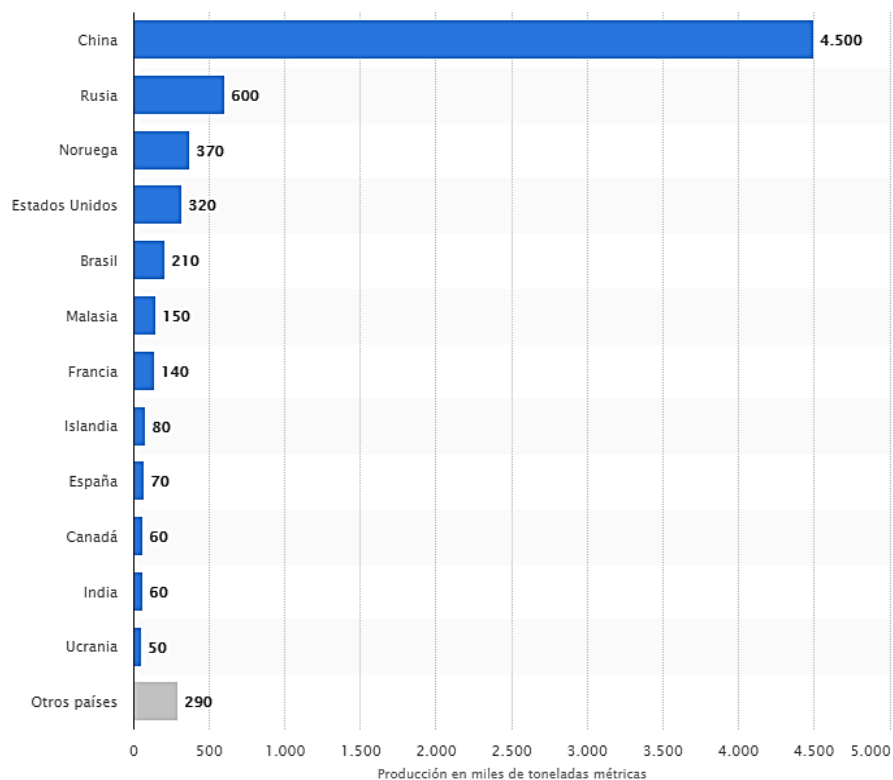
II. Proveedores de componentes

Silicio de grado de semiconductor y/o de grado solar

Si bien, el silicio (Si) es el segundo material más abundante en la corteza terrestre, la obtención de este material en estado puro es una condición muy particular y un elemento crítico para su uso en la industria electrónica y solar. Tomando los datos de Statista, en 2019, China produjo más del 50% del mercado mundial de silicio⁴⁶, seguido por Rusia, Noruega y Estados Unidos (*Figura 15*).

⁴⁶ Las principales aplicaciones del silicio a nivel mundial se enfocan a la metalurgia como agente reductor y como elemento de aleaciones. De la misma forma, es el material de base para la fabricación de silicona y se utiliza como semiconductor en diversas aplicaciones.

Figura 15 Ranking de los principales países productores de silicio a nivel mundial en 2019 (en miles de toneladas métricas)



Fuente: *Países líderes en la producción de silicio a nivel mundial 2019*. Statista (2020)

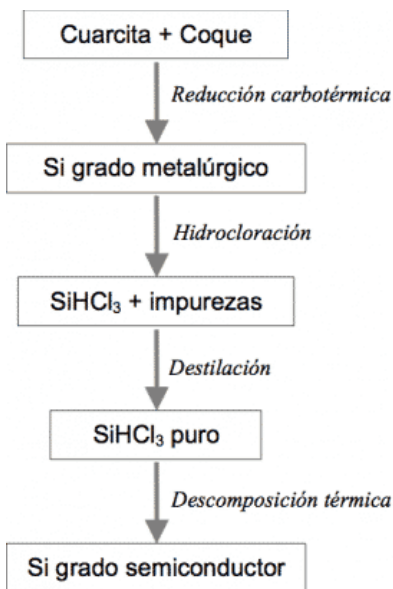
El proceso de obtención y purificación de silicio puede realizarse de dos formas: 1) a grado de semiconductor o, 2) a grado solar; ambas con una pureza superior al 98-99%. El proceso para obtener el silicio a grado solar es el que se emplea con mayor frecuencia debido a una disminución de operaciones empleadas y, por ende, una reducción en sus costos.

El proceso de fabricación de celdas poli y monocristalinas comienza con la producción de silicio de cuarzo de grado solar (SiO_2), el cual consiste en la extracción, minería y cocimiento de cuarcita con coque. Dado que el grado de pureza del silicio de grado semiconductor y de grado solar requieren de niveles de pureza superiores (impurezas menores que 0,01%), se proceden a los siguientes procesos diferenciados:

- 1) Proceso para la obtención del silicio de grado semiconductor: Consta de cuatro operaciones.
 - a. Reducción carboeléctrica de la cuarcita + coque (silicio recién extraído) con el objetivo de obtener silicio de grado metalúrgico
 - b. Hidrocloración del silicio de grado metalúrgico para obtener silicio hidroclorado + impurezas
 - c. Destilación del silicio hidroclorado para la obtención pura de este compuesto

d. Descomposición térmica para, finalmente, obtener el silicio grado semiconductor

Figura 16 Proceso para la obtención de silicio de grado de semiconductor

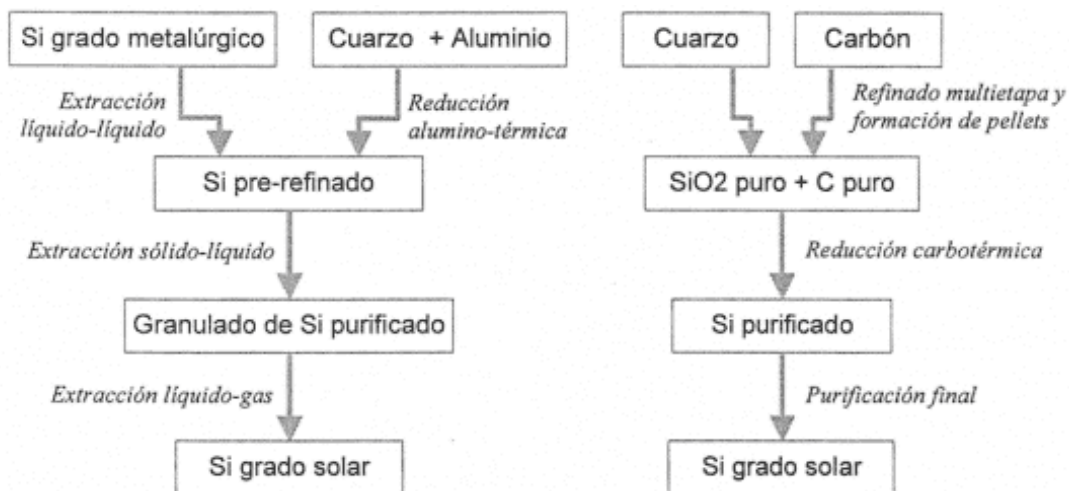


Fuente: *Fabricación de células fotovoltaicas: Obtención y purificación del silicio.*

Sunfields Europe (2020)

2) Procesos para la obtención de silicio de grado solar: existen al menos dos procesos para la purificación del silicio. En ambos casos, el proceso consta de tres operaciones claramente identificadas, como se observa en la figura siguiente.

Figura 17 Proceso para la obtención de silicio de grado de semiconductor



Fuente: *Fabricación de células fotovoltaicas: Obtención y purificación del silicio.*

Sunfields Europe (2020)

Los productores de este producto pertenecen a la industria química o a la industria de los semiconductores y requieren de gran cantidad de energía y experiencia para alcanzar los niveles de pureza requeridos. Las condiciones de cantidad⁴⁷ y calidad de los insumos, así como la alta concentración de conocimientos generan altas barreras de entrada a esta actividad.

Considerando los precios de metal de silicio y polisilicio del año 2019, el valor económico de un kilogramo de polisilicio es aproximadamente 4 veces más grande que el valor del metal de silicio.

Tabla 2 Principales productores de polisilicio de grado solar en 2018

	Límite inferior	Límite superior
Metal de silicio	1.925 USD / Kg (China)	2.71 USD / Kg (Estados Unidos)
Polisilicio	10.2 USD / Kg (Mundial)	10.9 USD / Kg (Mundial)

Fuente: Elaboración propia con datos de *Evolución anual del precio medio del silicio en los Estados Unidos desde 2014 a 2019*, Statista (2020) y de *Precios actuales de metales estratégicos*, Institut für seltene Erden und strategische Metalle (2020).

En 2018 este eslabón de la cadena fue liderado por los países asiáticos, particularmente por China al tener la sede de ocho de los diez principales fabricantes (incluyendo los tres principales) en dicho país (REN21, 2019).

Tabla 3 Principales productores de polisilicio de grado solar en 2018

#	Nombre de la empresa fabricante	Sede de la empresa
1	JinkoSolar	China
2	JA Solar	China
3	Trina Solar	China
4	Xi'an Longi Silicon Materials (LONGi)	China
5	Canadian Solar	China / Canadá
6	Hanwha Q-CELLS	Corea del Sur / Alemania
7	Risen Energy	China
8	GCL-SI	China
9	Talesun	China

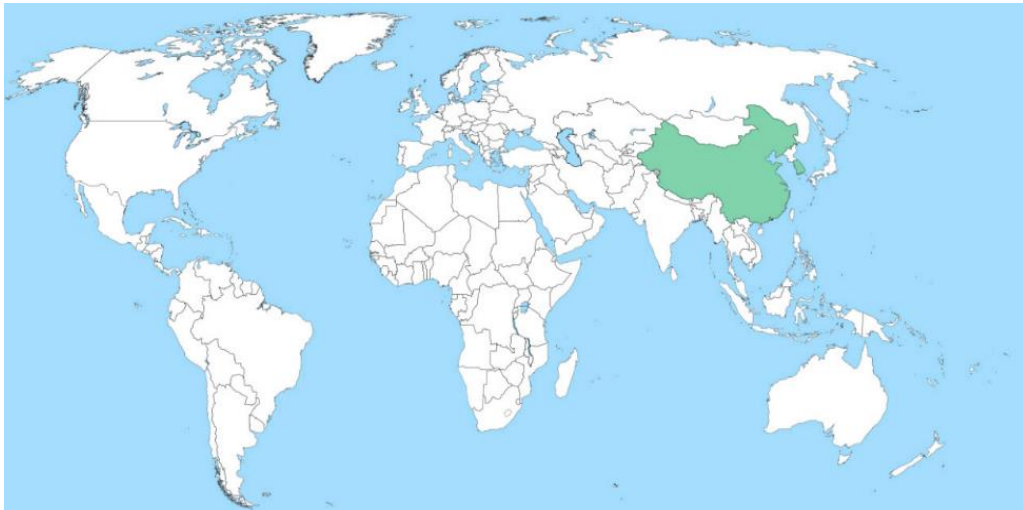
⁴⁷ En 2019, China fue el mayor productor de silicio del mundo (aproximadamente 4,5 millones de toneladas métricas producidas – aproximadamente el 65% del total mundial producido) seguido por Rusia, Noruega, Estados Unidos, Brasil, Malasia, Francia, Islandia, España, Canadá e India (Statista, 2020)

10	First Solar ⁴⁸	Estados Unidos
----	---------------------------	----------------

Fuente: Elaboración propia con datos de *REN21*. En gris, las empresas que están integradas verticalmente en dos eslabones, en verde se presentan las que se integran en tres eslabones o más.

El factor clave para este proceso es la distribución de silicio con una pureza relevante para ser tratado, el conocimiento y la infraestructura para realizar los procedimientos de purificación. Es decir, existe una relación entre la distribución de estos elementos y capacidades del personal con el desarrollo e interacción de las industrias dentro la cadena. Pese a la dominancia de China en el mercado mundial, la producción de este insumo no se caracteriza por ser limitativo, por el contrario, se encuentra enmarcado en un mercado cuyo producto es complejo, requiere del cumplimiento de altos estándares de purificación y cuyo precio es decisivo para su colocación.

Figura 18 Países que contribuyen a la producción del silicio metalúrgico



Fuente: Elaboración propia

La dominancia de China en este proceso se debe a que ha sido capaz de integrar de forma vertical cuatro operaciones relevantes: la extracción del silicio metalúrgico (hay que recordar que es el principal productor de silicio a nivel mundial), la purificación de este para obtener silicio de grado solar, el procesamiento de las obleas y la manufactura de celdas fotovoltaicas, como veremos próximamente. Esta verticalización de operaciones permite a las empresas chinas establecer

⁴⁸ First Solar es la única de las 10 principales compañías que fabrica celdas de *películas delgadas* y produce todos sus *módulos*

producciones a escala⁴⁹, lo cual explica las continuas innovaciones relacionadas con el procesamiento del silicio y la tendencia a la reducción de los precios del silicio grado solar a lo largo de los años.

Tabla 4 Factores de éxito y barreras de entrada a las empresas en la producción de silicio metalúrgico

Factores de éxito de las empresas	Cantidad y calidad de los insumos de silicio, seguridad de la planta productora, infraestructura mínima necesaria para realizar los procesos de purificación y <i>know-how</i>
Barreras de entrada al eslabón	Sobrecapacidad actual, experiencia de fabricación, altos costos de la infraestructura y requerimientos técnicos para la purificación

Fuente: Elaboración propia

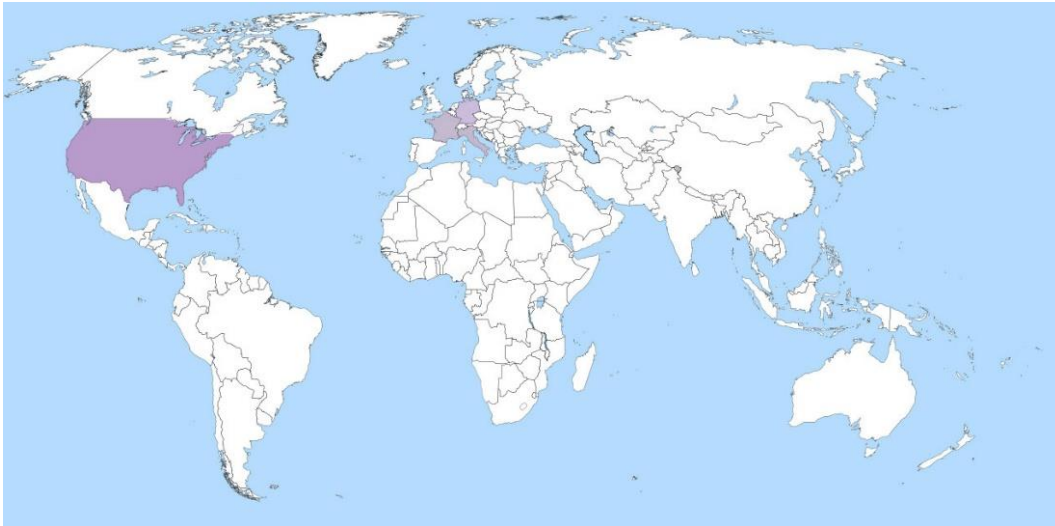
Materiales de encapsulación

Los criterios más relevantes relacionados con los materiales de encapsulación son el precio y la transmisión. El material mayoritariamente empleado en la hoja posterior es el Tedlar (Dupont) y el tereftalato de polietileno (PET) o los fluoro-polímeros. Los países líderes en el mercado, hasta 2011, eran Estados Unidos, Italia, Alemania y Francia, hasta ese momento, ningún competidor chino había entrado en el mercado (principalmente debido a problemas de calidad del sellado); sin embargo, la capacidad de producción de estos elementos se trasladó a China para estar más cerca de los clientes (empresas verticalmente integradas que se encuentran en China) y responder rápidamente a la demanda de los productores, la cual, en ese entonces, estaba en pleno desarrollo (GIZ & ANME, (2013)).

Hasta 2011, las empresas más grandes eran, entre otras, STR (EE. UU.), Solutia (EE. UU.), Coveme (Italia), 3M (EE. UU.), Krempel (Alemania) y Saint-Gobain (Francia) (GIZ & ANME, (2013)).

⁴⁹ En el caso del análisis de costos de silicio metálico manejado por el Instituto Alemán de Metales estratégicos, China maneja un precio por toneladas métricas (1000 Kg), mientras que Estados Unidos, India y

Figura 19 Países que producen película delgada



Fuente: Elaboración propia

Tabla 5 Factores de éxito y barreras de entrada a las empresas en los módulos de película delgada

Factores de éxito de las empresas	Calidad (transmisión, durabilidad), control de procesos.
Barreras de entrada al eslabón	Alto nivel de calidad requerido, materias primas patentadas, costes, existen empresas que dominan el mercado.

Fuente: Fuente: Elaboración propia con datos de *Analyse de la chaîne de valeur des technologies relatives à l'énergie solaire en Tunisie*, GIZ & ANME (2013)

III. Manufactura de los componentes

Procesamiento de lingotes y fabricación de obleas

Una vez obtenido el silicio de grado solar, se produce un lingote cilíndrico o paralelepípedo (*ingot*) que es luego aserrado en láminas delgadas. El proceso de fabricación de obleas implica la fundición de polisilicio y la solidificación direccional en gradiente vertical a través de uno de los tres métodos de producción: el método Czochralski (CZ), el de Zona Flotante (FZ) y los métodos de colada (MC) o de solidificación direccional (Sunfields, 2020). Las propiedades del material producido de cada uno de los materiales varía con respecto al método empleado.

Figura 20 Principales propiedades del material obtenido de acuerdo con el método de producción de lingotes

Método	Material producido	Velocidad crecimiento	Dimensiones del lingote	Tiempos de vida
Czochral.	Mono-Si	0.1-0.2 cm/min	15cm \varnothing x 2m	100 μ s
Zona Flot.	Mono-Si	0.3-0.5 cm/min	12.5cm \varnothing x 1m	1 a 10 ms
Colada	Multi-Si	—	Paralelepípedo	1 a 10 μ s

Fuente: *Células Fotovoltaicas: Explicación de qué son los lingotes y obleas de silicio solar*, Sunfields (2020).

Posteriormente, se procede a realizar cortes en forma de ladrillos, y se cortan rodajas de espesor entre 150 y 200 micras (generalmente 180 micras). Los emulsionantes y los cables, así como otros consumibles del proceso de corte, son los principales generadores de costos (GIZ & ANME, 2013). El proceso de corte de las obleas es una de las etapas más costosas de todo el proceso de fabricación, al desperdiciar aproximadamente la mitad del silicio de los lingotes (esto ocurre sobre todo en el caso de las células monocristalinas donde el lingote es circular y debe de cortarse para conseguir una célula lo más cuadrada posible), aunque el material residual puede reciclarse (Sunfields, 2020).

En este eslabón, al igual que en el anterior, podemos identificar un liderazgo conducido por los productores asiáticos con un 80% de la producción mundial. Los elementos críticos para que las empresas puedan prevalecer son la disponibilidad del silicio de grado solar y los semiconductores empleados para la aplicación de los métodos de producción de lingotes, así como las capacidades del personal que realiza el proceso de dopaje para hacer del silicio un material semiconductor. Esta actividad se encuentra generalmente integrada con otras dentro de la cadena de valor, principalmente con el eslabón previo debido a las ventajas técnicas y financieras que permiten las economías de escala. No obstante, a diferencia del siguiente proceso de este eslabón, el procesamiento de lingotes y la fabricación de obleas requiere de un nivel de conocimiento técnico muy específico que incluso contempla el uso de conocimiento tácito no codificable relacionado con el dopaje. Adicionalmente, al tratarse del manejo de semiconductores, el manejo de los materiales y las actividades debe ser muy cuidadoso y debe de apegarse a los códigos de seguridad, dado que existe la posibilidad de contaminar los materiales disminuyendo su efectividad, o incluso causar problemas como explosiones de planta. Debido a estas características, existen empresas que se encuentran en el proceso anterior y el proceso siguiente, pero no compiten en este eslabón y prefieren adquirir los recursos producidos por empresas cuya integración les permita manejar las condiciones de seguridad requeridas.

Para este proceso, el 80% de la producción mundial es proveniente de Asia, siendo China el país que tiene más del 50% de la capacidad de producción mundial y quien cuenta con los mayores productores de placas a nivel mundial (Tabla 6).

Tabla 6 Top 10 de fabricantes de obleas de silicio (2018)

Ranking	Nombre del productor	Ubicación
1	GCL-Poly Energy	China
2	Xi'an Longi Silicon Materials (LONGi)	China
3	Inner Mongolia Zhonghuan PM	Mongolia
4	Jinko Solar	China
5	LDK Solar	China
6	Sornid Hi-Tech	China
7	Green Energy Technology	China
8	Yingli Green Energy	China
9	ReneSola	China
10	JA Solar	China

Fuente: Elaboración propia con datos del *Periódico de la Energía*, febrero 2018.

NOTA: En gris se presentan las empresas que están integradas verticalmente en dos eslabones, en verde se presentan las que se integran en tres eslabones o más.

Figura 21 Países que producen obleas



Fuente: Elaboración propia

Las barreras de entrada están relacionadas con los costos de inversión y producción, así como con la integración vertical de actividades dentro de la cadena (GIZ & ANME, (2013))

Tabla 7 Factores de éxito y barreras de entrada a las empresas en la producción de obleas

Factores de éxito de las empresas	Alto nivel de conocimiento, economías de escala e integración vertical, conocimientos y experiencia necesarios para la fabricación, disminución de precios
Barreras de entrada al eslabón	Conocimiento, infraestructura, financiamiento

Fuente: Elaboración propia

Producción de celdas

En esta etapa, la oblea se somete a una serie de tratamientos con semiconductores, impresión de contactos frontales (con plata) y posteriores (con aluminio), finalmente los bordes de las celdas se aíslan antes de que las celdas se sometan a pruebas finales. Los principales costos de este proceso son el corte de planchas, la plata y el aluminio (GIZ & ANME, 2013).

Este proceso, al igual que el anterior, presenta una dominancia de China y una alta integración vertical de las empresas debido a la búsqueda de economías de escala. Al tratarse de una tecnología madura, las innovaciones se presentan de manera acelerada y las mejoras son principalmente en procesos para la reducción de precios. A diferencia del eslabón anterior (el cual presentaba una integración menor) éste se diferencia debido a que no requiere infraestructura tan delicada y costosa, por lo que las empresas deben de integrarse en el eslabón anterior en un proceso intrafirmas para posteriormente volver a un proceso interfirma.

Tabla 8 *Top 10* de productores de celdas fotovoltaicas (2018)

Ranking	Nombre del productor	Ubicación
1	JA Solar	China
2	Tongwei Solar	China
3	Trina Solar	China
4	Hanwha Q CELLS	Alemania y Corea del Sur
5	Jinko Solar	China

6	Xi'an Longi Silicon Materials (LONGi)	China
7	Shunfeng Photovoltaic International Limited (incl. Wuxi Suntech)	China
8	Canadian Solar	Canadá
9	Aiko Solar	China
10	First Solar	USA

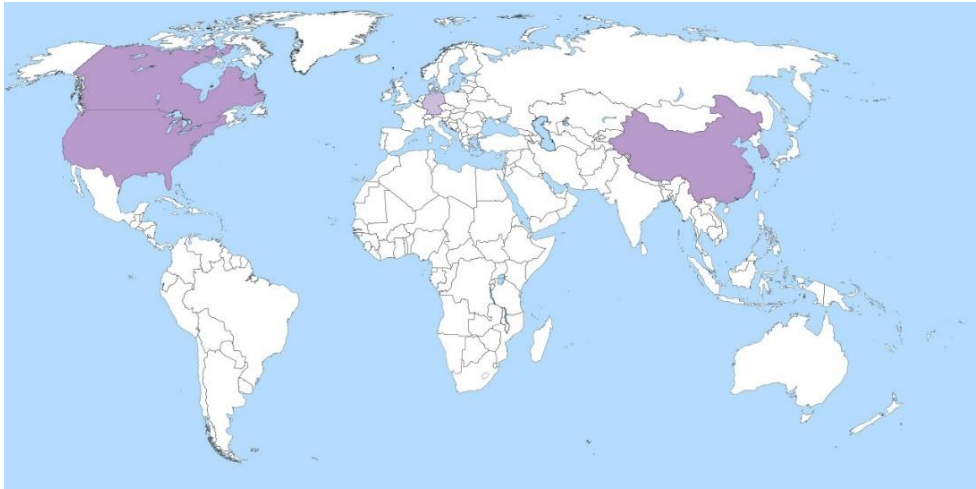
Fuente: *PVTECH & Solar Media Ltd*, enero 2019. NOTA: En gris se presentan las empresas que están integradas verticalmente en dos eslabones, en verde se presentan las que se integran en tres eslabones o más.

Uno de los elementos críticos, al igual que en el eslabón anterior, es el conocimiento técnico y tácito para el dopaje de las obleas, pues este es el criterio clave para poder garantizar la eficiencia de las celdas fotovoltaicas.

Las condiciones de estandarización y la rápida adaptación a las innovaciones por parte de las empresas extractoras de silicio, productoras de silicio de grado solar y productoras de silicio, así como el establecimiento de barreras comerciales de los países compradores (principalmente a través de los aranceles) y productores de silicio de grado solar, como Estados Unidos, no permiten a China dominar por completo el mercado. Aunque, debido al poder de mercado de este país, las afectaciones de los proveedores chinos presentan una onda expansiva a los productores nivel mundial⁵⁰.

⁵⁰ Un ejemplo de las afectaciones que pueden tener los proveedores chinos en la producción mundial se aprecia claramente en la explosión de una planta de polisilicio de GCL en julio de 2020, la cual redujo la capacidad mundial de producción en 10% y produjo un aumento en los precios del polisilicio. No obstante, debido a las condiciones del mercado de este producto, la demanda de estos productos ha comenzado a ser cubierta por otro proveedor (PV Magazine, 2020).

Figura 22 Países que producen celdas fotovoltaicas



Fuente: Elaboración propia

Tabla 9 Factores de éxito y barreras de entrada a las empresas en la producción de celdas

Factores de éxito de las empresas	<i>Know-how</i> y experiencia en semiconductores, economías de escala, conocimientos y experiencia necesarios para la fabricación, disminución de precios, calidad de las celdas.
Barreras de entrada al eslabón	Capacidades e infraestructura, costos

Fuente: Fuente: Elaboración propia con datos de *Analyse de la chaîne de valeur des technologies relatives à l'énergie solaire en Tunisie*, GIZ & ANME (2013)

Ensamble de módulos

Un módulo consiste en celdas, equipo de encapsulación, una lámina posterior de vidrio, un marco de aluminio y una caja de conexiones. Su proceso de fabricación comienza con el endurecimiento de las celdas, el lavado del vidrio y la superposición de todos los componentes. Posteriormente, se corta el marco de aluminio y el balance eléctrico del sistema (BOS) se une al módulo. Finalmente, el módulo se prueba, clasifica y empaqueta de acuerdo con su potencia de salida medida (GIZ & ANME, 2013).

Los procesos clave de este eslabón son: 1) la superposición, pues esta determina esencialmente la vida útil, el rendimiento, la eficiencia y la generación de energía del módulo, 2) la calidad de los componentes, las celdas deben estar óptimamente protegidas por la encapsulación y la lámina posterior y 3) la curva de tiempo / temperatura del proceso de laminación, el cual debe de ajustarse al tipo de encapsulación y placa empleadas en la fabricación.

El rendimiento del proceso de superposición es el cuello de botella de la fabricación del módulo.

El proceso de ensamblaje requiere de maquinaria específica y cuya actualización presenta rápidos cambios, la cual, de usarse, permite emplear a personas cuyas capacidades y conocimientos técnicos no sean específicos; es decir, los requerimientos de técnicos y de conocimiento disminuyen en comparación de los eslabones previos. Adicionalmente a la posibilidad de tecnificación y automatización existen una serie de estándares internacionales de procesos y de producto que requieren cumplir los ensambladores para garantizar la calidad, eficiencia y seguridad de módulo fotovoltaico:

- UNE 206001:1997 EX. Módulos fotovoltaicos. Criterios ecológicos
- UNE-EN 50380:2003 Informaciones de las hojas de datos y de las placas de características para los módulos fotovoltaicos
- UNE-EN 60891:1994 Procedimiento de corrección con la temperatura y la irradiancia de la característica I-V de dispositivos fotovoltaicos de silicio cristalino (Versión oficial EN 60891:1994)
- UNE-EN 60904-1:1994 Dispositivos fotovoltaicos. Parte 1: Medida de la característica intensidad-tensión de los módulos fotovoltaicos (Versión oficial EN 60904-1:1993)
- UNE-EN 60904-2/A1:1998 Dispositivos fotovoltaicos. Parte 2: Requisitos de células solares de referencia
- UNE-EN 60904-3:1994 Dispositivos fotovoltaicos. Parte 3: Fundamentos de medida de dispositivos solares fotovoltaicos (FV) de uso terrestre con datos de irradiancia espectral de referencia (Versión oficial EN 60904-3:1993)
- UNE-EN 60904-5:1996 Dispositivos fotovoltaicos. Parte 5: Determinación de la temperatura de la célula equivalente (TCE) de dispositivos fotovoltaicos (FV) por el método de la tensión de circuito abierto
- UNE-EN 60904-6:1997 Dispositivos fotovoltaicos. Parte 6: Requisitos para los módulos solares de referencia
- UNE-EN 60904-7:1999 Dispositivos fotovoltaicos. Parte 7: Cálculo del error introducido por desacoplo espectral en las medidas de un dispositivo fotovoltaico
- UNE-EN 60904-8:1999 Dispositivos fotovoltaicos. Parte 8: Medida de la respuesta espectral de un dispositivo fotovoltaico (FV)
- UNE-EN 60904-10:1999 Dispositivos fotovoltaicos. Parte 10: Métodos de medida de la linealidad

- UNE-EN 61215:1997 Módulos fotovoltaicos (FV) de silicio cristalino para aplicación terrestre. Cualificación del diseño y aprobación de tipo
- UNE-EN 61277:2000 Sistemas fotovoltaicos (FV) terrestres generadores de potencia. Generalidades y guía
- UNE-EN 61345:1999 Ensayo ultravioleta para módulos fotovoltaicos (FV)
- UNE-EN 61646:1997 Módulos fotovoltaicos (FV) de lámina delgada para aplicaciones terrestres. Cualificación del diseño y aprobación de tipo
- UNE-EN 61683:2001 Sistemas fotovoltaicos. Acondicionadores de potencia. Procedimiento para la medida del rendimiento
- UNE-EN 61701:2000 Ensayo de corrosión por niebla salina de módulos fotovoltaicos (FV)
- UNE-EN 61724:2000 Monitorización de sistemas fotovoltaicos. Guías para la medida, el intercambio de datos y el análisis
- UNE-EN 61725:1998 Expresión analítica para los perfiles solares diarios
- UNE-EN 61727:1996 Sistemas fotovoltaicos (FV). Características de la interfaz de conexión a la red eléctrica
- UNE-EN 61829:2000 Campos fotovoltaicos (FV) de silicio cristalino. Medida en el sitio de características I-V

La disminución de la complejidad del producto y los conocimientos requeridos para su ensamblaje permiten la inserción de otras empresas al eslabón; no obstante, la salida de estos productos al mercado es altamente dependiente de: 1) el precio, cuya tendencia es a la baja, 2) calidad y certificación internacional de los módulos fotovoltaicos. Pese a estas condiciones de mercado, China sigue manteniendo un amplio poder de mercado e influencia dominada por su capacidad de producción a escala e integración vertical.

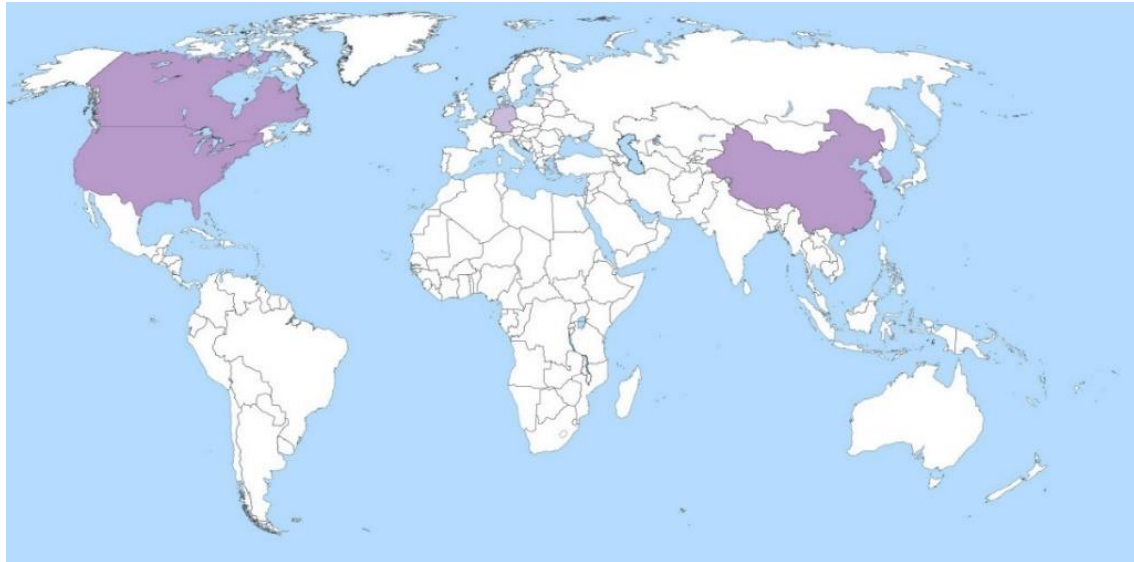
Tabla 10 *Top 10* de productores de ensambladores de módulos fotovoltaicos (2019)

Ranking	Nombre del productor	Ubicación
1	Trina Solar	China
2	Canadian Solar	Canadá
3	Jinko Solar	China
4	JA Solar	China
5	Hanwha Q CELLS	Alemania y Corea del Sur
6	First Solar	USA

7	Yingli Green	China
8	SFCE	China
9	ReneSola	China
10	SunPower Corp	USA

Fuente: *PVTECH & Solar Media Ltd*, Enero 2019

Figura 23 Países que producen celdas fotovoltaicas



Fuente: Elaboración propia

Tabla 11 Factores de éxito y barreras de entrada a las empresas en la producción de celdas

Factores de éxito de las empresas	Economías de escala, capacidades de producción, costo de materiales, integración vertical, tecnificación y automatización de los procesos
Barreras de entrada al eslabón	Costos, sobreproducción actual, requerimientos de certificación internacional, posicionamiento de marcas

Fuente: Fuente: Elaboración propia con datos de *Analyse de la chaîne de valeur des technologies relatives à l'énergie solaire en Tunisie*, GIZ & ANME (2013)

IV. Distribución

Venta de módulos y de sistemas

La distribución de los módulos y sistemas se realiza mediante ventas a mayoristas o como ventas a minoristas. Las ventas se realizan en línea y son transportadas hasta el lugar de adquisición. En la *Tabla 12*, se presenta el *Top 10* de empresas distribuidoras de módulos fotovoltaicos y los envíos globales en Gigawatts (GW) de módulos fotovoltaicos equivalentes.

Tabla 12 *Top 10* de productores de ensambladores de módulos fotovoltaicos (2019)

#	Nombre del productor	Ubicación	Envíos en GW equivalentes		% Crecimiento
			2018	2019	
1	Jinko Solar	China	11.4	14.2	25%
2	JA Solar	China	8.8	10.3	17%
3	Trina Solar	China	8.1	9.7	20%
4	LONGi Solar Technology Co Ltd (integración de Xi'an LONGi Silicon Materials)	China	7.2	9	25%
5	Canadian Solar	China / Canadá	7.2	8.5	20%
6	Hanwha Q CELLS	Alemania / Corea del Sur	5.5	7.3	33%
7	Risen Energy	China	4.8	7	46%
8	First Solar	USA	2.7	5.5	104%
9	GCL-Poly Energy	China	4.1	4.8	17%
10	Shunfeng Photovoltaic International Limited	China	3.3	4	21%

Fuente: El Periódico de la Energía (2020), GlobalData, Power Intelligence Center.

NOTA: En gris se presentan las empresas que están integradas verticalmente en dos eslabones, en verde se presentan las que se integran en tres eslabones o más.

Como es posible observar, la distribución de módulos fotovoltaicos sigue en aumento, esto se debe a la tendencia de transición de sistema energético y disminución del precio de las celdas fotovoltaicas. Otro aspecto notorio es la dominancia de las empresas chinas en este eslabón. Si bien se observa un aumento en los productores y distribuidores estadounidenses, se estima que más del 70% de los módulos distribuidos a nivel global son asiáticos, principalmente chinos. Esto resulta relevante, debido a que el precio, la calidad y las certificaciones de los módulos son características críticas para la elección de los módulos en el mercado. No obstante, estas características solo pueden ser obtenidas

a través de la automatización de procesos y la producción a escala, por lo que la integración vertical es un elemento crítico para la competencia y permanencia de las empresas distribuidoras.

Figura 24 Países donde se localizan las empresas distribuidoras de módulos y sistemas



Fuente: Elaboración propia

Tabla 13 Factores de éxito y barreras de entrada a las empresas en los módulos de película delgada

Factores de éxito de las empresas	Calidad del módulo (transmisión, durabilidad), precio, integración vertical hacia arriba
Barreras de entrada al eslabón	Calidad, certificaciones, eficiencia y costo de los módulos Posicionamiento de las marcas en el mercado

Fuente: Elaboración propia

En la sección de generación de insumos China presenta una dominancia de mercado importante. Como mencionamos con anterioridad, los impactos de la política nacional china o los impactos en su producción son determinantes para el desarrollo de la industria solar fotovoltaica, particularmente la que se centra en el silicio como material principal. No obstante, la dominancia de este país no es totalitaria, pues los módulos, al ser productos que se encuentran entre la fase de crecimiento y madurez, son productos que se encuentran en constante mejora. En el corto y mediano plazo, la integración vertical y la producción a escala de China le da una ventaja, no obstante, a largo plazo, el eslabón crítico para esta sección de la cadena es la innovación y desarrollo tecnológico.

La innovación y el desarrollo tecnológico resulta la vía a través de la cual el mercado mundial podría generar cambios radicales dentro de la industria. Como es posible observar en la *Figura 13 Tabla de registro de eficiencia en la de celdas fotovoltaicas en proceso de investigación*, las celdas de silicio continúan realizando innovaciones, no obstante, la tasa de cambio en la tendencia es menor que aquellas que buscan nuevos materiales. La búsqueda de nuevos materiales como los denominados “orgánicos” y la mejora de eficiencia en módulos cuyos requerimientos de silicio grado solar son menores, como los módulos de capa delgada, podría despuntar la industria hacia nuevas formas de producir y normar el mercado mundial de la industria solar fotovoltaica. Por ello, países, principalmente los primeros adoptadores que además son los desarrollados, invierten en el desarrollo de estas tecnologías.

Conforme los eslabones de la cadena de valor avanzan, existe una disminución de requerimientos técnicos y científicos para el desarrollo de las actividades. Es decir, a mayor retroceso en las actividades de la cadena de valor, mayor es la cantidad de insumos técnicos y tecnológicos que se requieren.

La dependencia actual de los países en desarrollo a la tecnología solar fotovoltaica basada en silicio los deja en desventaja ante los cambios del mercado futuros. Por lo que las políticas energéticas en estos países deberían de enfocarse no solo en la implementación de proyectos solares, y en la capacitación técnica para los procesos de instalación, sino en el desarrollo de capacidades y la promoción de la investigación y desarrollo tecnológico.

En cuanto a la sección de instalación, constituida por las fases 5 – 7 de la cadena de valor, los requerimientos en los procesos son extremadamente variables al depender de la política energética de cada región y la escala a la cual se implementan los proyectos. Las barreras para el ejercicio de este tipo de procesos son de índole local, pues dependen de 1) las condiciones contextuales de cada región, 2) la cantidad de instituciones que promuevan el uso de energías renovables en cada país, y 3) la aceptabilidad de estas tecnologías en la región.

Para el análisis de la siguiente parte de la cadena, nos enfocaremos en el mercado mexicano. Para ello haremos un análisis de su política nacional e identificaremos las barreras y factores críticos para el desarrollo de proyectos.

CONDICIONES DE MÉXICO

Como se mencionó en la introducción México es una país favorecido para la generación de energía a través de fuentes eólicas (velocidades de viento que superan los 30 km/h en la zona de Tehuantepec,

Oaxaca), solares (radiación solar 5.3 kwh/m² por día promedio, en zonas del Norte -Sonora, Sinaloa, Baja California - y del Sur – Oaxaca - del país con radiaciones promedio superiores), biomasa e incluso geotérmica (México es el cuarto país del mundo con mayor capacidad geotérmica instalada, aún cuenta con dos zonas que podrían ser explotadas en el estado de Nayarit).

El Sistema Eléctrico Nacional (SEN) es un sistema maduro⁵¹ (característico de los países desarrollados), el cual enfrenta retos de transformación tecnológica y de demanda (Biosfera Desarrollos & Coenergía, 2017). A saber: 1) la producción de energía está compuesta de tecnología obsoleta⁵² basada en gas natural y otros combustibles importados, 2) la transmisión de energía cuenta con limitadas rutas de abastecimiento para expandirse por todo el territorio⁵³ y 3) existe el riesgo de que el país quede cautivo debido a la posibilidad de ser estructuralmente deficitario de energía para los próximos años. Estas condiciones aunadas a las repercusiones de la huella de carbono generada por el sector eléctrico en la salud y el medio ambiente, el desafío no es exclusivamente el de incrementar la producción de energía, sino hacerlo de manera sustentable.

Desde el punto de vista de política energética las medidas que ha establecido México se pueden dividir en dos fases de esfuerzos contrapuestos: las estrategias impulsadas en el sexenio 2012-2018 y las propuestas para el sexenio 2018-2024. Durante el periodo 2012-2018, el país realizó modificaciones en las políticas nacionales definiendo a las energías limpias⁵⁴ como fuente de desarrollo. Algunos de los intentos se vieron reflejados en la reforma energética de 2013⁵⁵, la implementación de las reformas secundarias de 2013-2014⁵⁶ así como en la Reforma Energética y la Ley de Transición Energética

⁵¹ En México, el Sistema Eléctrico Nacional (SEN) se encuentra compuesto de 4 sistemas eléctricos aislados y contaba, en 2017, con una capacidad instalada de 75,685 MW, de la cual el 70.5% correspondía a centrales eléctricas convencionales y 29.5% a centrales eléctricas con tecnologías limpias (Secretaría de Energía, 2018). Existe una tendencia creciente de uso de tecnologías renovables (solar, eólica, geotérmica, hidroeléctrica); sin embargo, las tecnologías con mayor capacidad instalada dentro del SEN emplean energía no renovable con una contribución significativa a la generación de gases de efecto invernadero (Secretaría de Energía, 2018).

⁵² Tecnologías que, por el tiempo de instalación, tienen niveles de eficiencia de conversión energética bajos

⁵³ El Sistema Energético se encuentra saturado. Si bien, la posibilidad de generar existe, la red del SEN, no permite con facilidad la instalación de nuevos proyectos de generación.

⁵⁴ Es importante marcar la diferencia entre la concepción de energías limpias y renovables.

Energías limpias (Artículo 3, Fracción XXII, Ley de la Industria Eléctrica): “Aquellas fuentes de energía y procesos de generación de electricidad cuyas emisiones o residuos, cuando los haya, no rebasen los umbrales establecidos en las disposiciones reglamentarias que para tal efecto se expidan.” Incluye proyectos de generación con energía renovable y cogeneración eficiente.

Energías renovables (Artículo 3, Fracción XVI, Ley de Transición Energética): “Aquellas cuya fuente reside en fenómenos de la naturaleza, procesos o materiales susceptibles de ser transformados en energía aprovechable por el ser humano, que se regeneran naturalmente, por lo que se encuentran disponibles de forma continua o periódica, y que al ser generadas no liberan emisiones contaminantes”.

⁵⁵ Esta reforma tenía como objetivo remodelar las estructuras legales del sector energético para permitir nuevas inversiones (apertura comercial) y tecnologías en la cadena de valor de los hidrocarburos.

⁵⁶ Las reformas secundarias incluyeron la creación las siguientes normativas: Ley de Hidrocarburos, Ley de la energía Geotérmica, Ley de la Industria Eléctrica, Ley de la Agencia Nacional de Seguridad Industrial y

realizadas en 2015⁵⁷. Adicionalmente, a nivel federal se desarrollaron iniciativas que promovían la investigación, innovación y desarrollo en materia energética, particularmente la renovable⁵⁸.

Para realizar un análisis de las políticas energéticas del país es necesario establecer dos escenarios: el sexenio 2012-2018, durante el cual se estableció la Reforma Energética de 2015, y el sexenio 2018-2024 debido al cambio de gobierno nacional y a la nueva orientación de las estrategias nacionales.

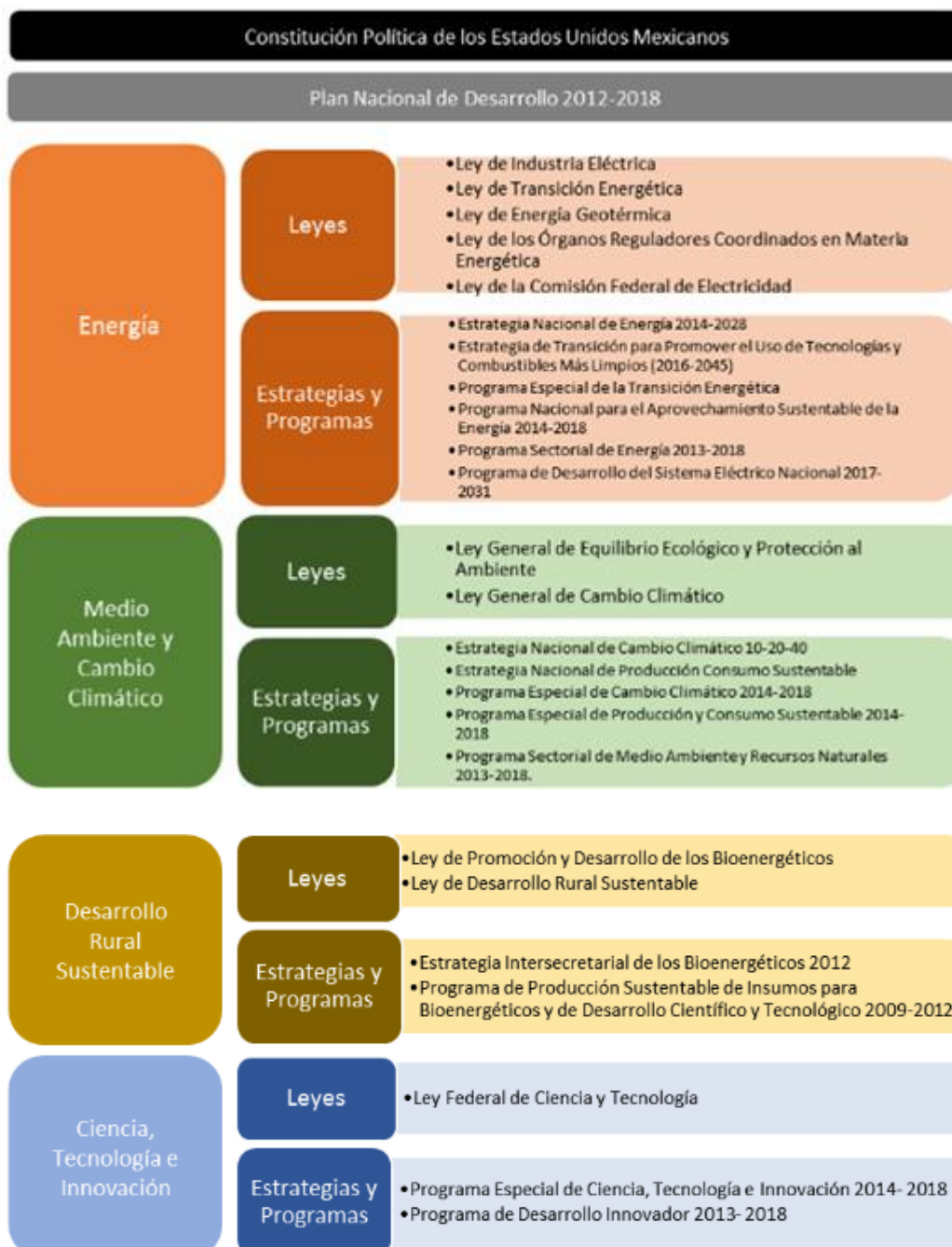
El Plan Nacional de Desarrollo del 2012-2018 establecía las metas y estrategias transversales para llevar a México a lo que se consideraba el máximo potencial. El tema energético, se estableció en la *Estrategia 4.6.2. Asegurar el abastecimiento racional de energía eléctrica a lo largo del país*, que en conjunto con los apartados *México incluyente*, *Democratizar la Productividad*, y *México próspero* pretendían alcanzar el desarrollo sustentable mediante metas de generación y acceso a la red eléctrica. Durante este periodo se realizaron las modificaciones legales pertinentes (Ver *Anexo 3.*) y se buscó la alineación holística del Plan Nacional de Desarrollo con las leyes relacionadas con la energía, medio ambiente y cambio climático, desarrollo rural sustentable, ciencia y tecnología como se puede observar en la *Figura 25*.

Protección al Medio Ambiente del Sector Hidrocarburos, Ley de los Órganos Reguladores Coordinados en Materia Energética.

⁵⁷Esta ley tiene por objetivo regular el aprovechamiento sustentable de la energía, así como las obligaciones en materia de Energías Limpias y de reducción de emisiones contaminantes de la Industria Eléctrica manteniendo la competitividad de los sectores productivos.

⁵⁸ En términos de Investigación, Innovación y Desarrollo la estrategia se dividió en tres áreas: 1) el desarrollo de los Centros Mexicanos de Investigación en Energías (CEMIEs): bioenergía, solar, eólico, geotérmico, océano, captura CO2 y redes, 2) el desarrollo de competencias técnicas mediante los Programas de Investigación de Largo Aliento y el otorgamiento de becas del Fondo de Sustentabilidad Energética-CONACYT y 3) el programa Premio PRODETES, el cual tenía por objetivo incentivar la comercialización de tecnologías innovadoras mediante la evaluación técnica y financiera de los proyectos de investigación relacionados a energías renovables y redes.

Figura 25. Instrumentos legales del ámbito federal para promover la innovación, producción y adopción de energías limpias (considerando la jerarquía de las leyes).



Fuente: Evaluación De necesidades Regionales 5. SENER (2018).

Adicionalmente, durante este periodo se desarrollaron estímulos económicos para la promoción del sector de energías limpias en tres rubros:

1. Instrumentos económicos de mercado que se orientan a impulsar la oferta y la demanda de energías limpias.
2. Instrumentos fiscales que tienen por objetivo reducir la carga tributaria en aquellos actores que desarrollasen proyectos de energías limpias.
3. Instrumentos de financiamiento que buscan otorgar créditos y apoyos para el desarrollo de un sector innovador como son las energías limpias y la eficiencia energética.

En el caso del sexenio de 2018-2024, se presenta un cambio en el enfoque de la política energética, desalineando los instrumentos en pro de la transición energética. Si bien es cierto que las leyes y normativas del sexenio anterior no se han modificado por completo, y que en este sexenio se plantea mayor asequibilidad del sector, es necesario analizar a fondo las medidas establecidas por el nuevo gobierno para comprender la situación actual del país en este rubro.

El Plan Nacional de Desarrollo del 2012-2018 se relaciona con el sector energético en los temas de “rescate al sector energético” y “proyectos regionales”, este último específicamente con el proyecto de Corredor Multimodal Interoceánico en el Istmo de Tehuantepec, donde se plantea realizar un gaseoducto. Adicionalmente, se relaciona con el “Objetivo 3.5 Establecer una política energética soberana, sostenible, baja en emisiones y eficiente para garantizar la accesibilidad, calidad y seguridad energética” y el Objetivo 3.10 “Fomentar un desarrollo económico que promueva la reducción de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero y la adaptación al cambio climático para mejorar la calidad de vida de la población” del anexo XVIII-Bis del mismo plan.

De acuerdo con estos documentos, en los últimos años, el sector energético mexicano se ha contraído generando una desaceleración en la economía, y establece que las causas de esta desaceleración son: el bajo nivel de inversión pública en el sector, la declinación natural de las reservas petroleras, la caída en el precio de la mezcla mexicana de exportación, la corrupción, y las restricciones financieras y operativas de las empresas productivas del Estado: Pemex⁵⁹ y CFE⁶⁰. Adicionalmente, menciona que algunos de los principales retos del sector eléctrico son: mantener un balance en el suministro de combustibles necesarios para la generación de electricidad; diseñar y aplicar tarifas que cubran costos eficientes y envíen señales adecuadas a productores y consumidores; aumentar la inversión en mantenimiento, y la ampliación de la infraestructura de transmisión, distribución y generación, promoviendo las energías limpias.

⁵⁹ Petróleos Mexicanos.

⁶⁰ Comisión Federal de Electricidad.

Para contrarrestar esta situación, el gobierno plantea las siguientes soluciones:

- Fortalecer la posición financiera y la sostenibilidad de las empresas productivas del Estado, al tiempo que se genera valor económico y rentabilidad para el Estado mexicano.
- Garantizar un entorno de previsibilidad y certidumbre regulatoria con base en reglas y criterios consistentes, transparentes y de fácil acceso para los actores regulados de la industria energética y que propicien el desarrollo del sector.
- Incrementar la producción del sector energético nacional de manera sostenible, bajo principios de eficiencia, cuidando la seguridad industrial, y promoviendo el contenido nacional y la inversión.
- Orientar el uso de los hidrocarburos para elaborar productos con mayor valor agregado, promoviendo el uso de técnicas de eficiencia energética.
- Asegurar el abasto sostenible de energéticos de calidad a las personas consumidoras, a precios accesibles.
- Contribuir a la formación y fortalecimiento de capital humano y científico de alto nivel en el sector energético mexicano, de calidad mundial, tomando en cuenta su evolución y necesidades a largo plazo y bajo principios éticos, científicos y humanistas.
- Garantizar los derechos de los pueblos indígenas y otros grupos sociales asentados en las áreas en donde se llevan a cabo las actividades en materia energética.
- Fomentar la generación de energía con fuentes renovables y tecnologías sustentables, y coadyuvar a la reducción de las emisiones del sector energético, promoviendo la participación comunitaria y su aprovechamiento local, así como la inversión.
- Identificar los riesgos de corrupción e ineficacia para prevenirlos y combatirlos en todos los procesos del sector energético.
- Impulsar la investigación y el desarrollo de tecnologías limpias. De acuerdo con estos documentos, se impulsará la adopción de maquinaria eficiente y de bajas emisiones de carbono en la industria, mientras que en el sector energético se promoverá la generación de energías limpias y renovables.
- Diseñar mecanismos para fomentar una transición hacia tecnologías limpias a través de políticas, instrumentos económicos y de mercado que incentiven estas actividades, tales como la mejora del impuesto de carbono y la implementación de un mercado de carbono.

Entre algunas de las acciones contempladas son:

- Fortalecer las empresas productivas del Estado para consolidarlas como los pilares de la seguridad y soberanía energética. El fortalecimiento financiero y el incremento en la inversión productiva de Pemex, CFE y otros actores será crucial para incrementar la producción de hidrocarburos, restituir las reservas de petróleo y gas natural e incrementar la infraestructura de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica del Sistema Eléctrico Nacional. Esto se logrará bajo los principios de máxima eficiencia y aprovechamiento responsable.
- Evaluar la carga fiscal de las empresas productivas del Estado con la finalidad de hacerlas más rentables y eficientes, sin que ello implique un deterioro para las finanzas públicas. Identificar las áreas expuestas o vulnerables a actos de corrupción en el sector. Esto permitirá contar con mayor eficiencia y transparencia en las operaciones de las empresas productivas del Estado.
- Restablecer la industria petroquímica, así como el Sistema Nacional de Refinación, con el objetivo de producir bienes con mayor valor agregado, mitigar la dependencia nacional en la importación de petrolíferos y garantizar el abasto accesible a combustibles y energía de la población en general.
- Establecer espacios para la consulta y participación en los proyectos de generación de energía. Asimismo, promover proyectos comunitarios de generación de energía renovable para erradicar la vulnerabilidad, pobreza y marginación energética.

Dada la diferenciación entre la política del sexenio 2012-2018 y 2018-2024, el desarrollo de las energías renovables en México requiere de una estructuración normativa sólida que permita al país emplear este tipo de energías como una fuente de desarrollo. No obstante, a nivel nacional se identifica los siguientes retos para lograrlo⁶¹:

- Barreras financieras. Existe un desconocimiento de los programas de apoyo y financiamiento para el impulso de las energías limpias en diferentes zonas de la República. En diversos casos, los proyectos son detenidos por el incumplimiento con los mínimos requisitos de garantía comercial. Aunado a ello, es necesario clarificar los procedimientos de asignación de fondos de financiamientos y transparencia administrativa.
- Barreras de infraestructura. La generación de energías limpias requiere de interconexión, lo que va a requerir nuevas inversiones en la expansión de la actual infraestructura de transmisión y distribución. La infraestructura actual es limitada. El sistema energético se encuentra al límite de su capacidad y las autorizaciones para interconexión están por el momento suspendidas. Este

⁶¹ Información obtenida de las Evaluaciones de Necesidades Regionales del Observatorio del Ecosistema de Innovación de las Energías Limpias

hecho limita actualmente la inversión en estas tecnologías ya que no presenta motivación alguna. Los desarrolladores y proveedores de servicios de energías limpias deben tener, a la brevedad, las bases claras y transparentes de parte de las autoridades competentes, así como los términos de referencia que provean igualdad de condiciones para el acceso a este sector de todos los potenciales inversionistas (Biosfera Desarrollos & Coenergía, 2018).

- Barreras institucionales y administrativas. La mayor parte de la población percibe que las concesiones han sido desarrolladas mediante actos corruptos, esto se ve reflejado en el discurso diario del gobierno actual. Por esta razón, y ante acciones legales que están ocurriendo entre el gobierno y proyectos previamente acordados, se están generando barreras relacionadas con la ausencia de responsabilidades claramente definidas, complicaciones en los procedimientos de concesión de licencias y procesos de permisos complejos, lentos, largos u opacos.
- Barreras de mercado. Existe incertidumbre en el uso de las energías limpias y, aunque las cadenas de valor de energías limpias están siendo desarrolladas en los diversos estados, sigue habiendo una dependencia en las innovaciones y desarrollos que ocurren en el exterior.
- Barreras de aceptación pública y barreras ambientales. Debido a malas prácticas relacionadas con la implementación de proyectos de energías limpias en diversos estados, existe una reticencia social a la implementación de estos proyectos en diversas regiones del país.
- Barreras reglamentarias y de políticas. Debido a las modificaciones realizadas por el sector a nivel nacional, y debido a una desarticulación entre los diversos niveles de gobierno, existe un desconocimiento y complejidad de acceso y difusión de los instrumentos legales y normativos relacionados con las energías limpias. Por otro lado, es necesario capacitar al capital humano para el desarrollo de políticas públicas eficientes y alineadas a los objetivos globales.

Tomando en consideración las condiciones del sector y la política energética nacional previamente mencionada, se presenta el siguiente análisis de la cadena de valor para la sección de instalación.

V. Planeación, ingeniería, construcción e instalación, y mantenimiento

Las etapas de planeación, ingeniería, construcción e instalación operación y mantenimiento.

Cuando se trata de grandes proyectos (instalación de proyectos para integrarse a la red), las instituciones relacionadas son: Bancas de Desarrollo y los gobiernos propios de los países.

Cuando se trata de proyectos de pequeña escala (instalación de proyectos para unidades económicas específicas), las instituciones relacionadas son: el gobierno nacional o estatal mediante incentivos

fiscales o apoyos gubernamentales y las empresas instaladoras locales mediante el desarrollo de esquemas de financiamiento de los proyectos.

Tabla 14 Factores de éxito para las etapas locales

Factores de éxito de las empresas	Esquemas de financiamiento de los proyectos, aceptación local
--	---

Fuente: Elaboración propia

VI. Desmantelamiento

Esta etapa hace referencia al desmantelamiento y el reciclaje de los módulos solares obsoletos o que hayan terminado su ciclo de vida útil (30 años). De acuerdo con estudio de la IRENA, a medida que aumente la capacidad instalada fotovoltaica, también se incrementará la necesidad de desmantelar los módulos fotovoltaicos según alcancen la obsolescencia. De acuerdo con el informe “End-of-life management; solar photovoltaic panels”, se espera que para 2050 los residuos fotovoltaicos generados sean de aproximadamente 5,5– 6.0 millones de toneladas. Siendo China, Estados Unidos, Japón, India y Alemania los países donde se haya acumulado una mayor cantidad de residuos de módulos para el mismo año.

Hasta el momento solo se ha identificado que sólo la Unión Europea cuenta con una regulación específica sobre los residuos fotovoltaicos, con objetivos de recogida, recuperación y reciclaje de módulos. De acuerdo con la Directiva de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos, la Unión Europea exige a todos los productores de módulos fotovoltaicos que quieran comercializar sus productos, que financien los costes de recogida y reciclaje de estos.

Tabla 15 Barreras de entrada a las empresas en el desmantelamiento de los módulos fotovoltaicos

Barreras de entrada al eslabón	Existencia de una política pública que fomente el reciclado de los módulos
---------------------------------------	--

Fuente: Elaboración propia

E. Gobernanza en la cadena de valor de la energía solar fotovoltaica

La teoría de la gobernanza de las cadenas de valor está centrada en las transacciones, las empresas y las industrias como unidades de análisis (Sturgeon, 2011), y hace referencia a las diversas formas de control o coordinación que ejercen las empresas líderes dentro de una cadena específica (Sandoval Cabrera S. V., 2011).

Como se observó en la *Figura 11 Cadena de valor de la industria solar fotovoltaica*, la cadena global de valor de las energías fotovoltaicas se encuentra dividida, en general, en 8 eslabones y dos segmentos:

Segmento I: Generación de insumos

1. Investigación y desarrollo tecnológico: Actividades de investigación relacionada con materiales y diseño de nuevos modelos que mejoren la eficiencia de los módulos.
2. Proveedores de componentes: Actividades de proveeduría de silicio grado solar, vidrio, película plástica, metal y productos químicos (siendo la proveeduría del silicio metalúrgico el elemento principal de esta fase).
3. Manufactura de componentes: Actividades relacionadas con la fabricación de obleas y celdas, así como el ensamble de módulos.
4. Distribución: Actividades de venta al por mayor de módulos y venta de sistemas.

Segmento II: Instalación

5. Planeación (diseño y financiamiento): Servicios de estudios de factibilidad, bancabilidad, financiación y selección de sitio.
6. Ingeniería, construcción e instalación: Servicios de ingeniería, adquisiciones, construcción, conexión a la red.
7. Operación y mantenimiento: Servicios de limpieza de módulos, servicio al sitio, generación eléctrica y mantenimiento de instalaciones
8. Desmantelamiento: Servicios de desmantelamiento, reciclaje y preparación para la reutilización.

Considerando las características de cada uno de los eslabones descritos previamente y la metodología expuesta en el *Anexo 2. Gobernanza de la cadena de valor*, realizamos una serie de preguntas que permiten la homologación de criterios para evaluar la especificidad de las transacciones entre las organizaciones del eslabón evaluado, sus capacidades para comprender y transmitir información y su capacidad para resolver las demandas del comprador con respecto a requerimientos específicos; es decir, su capacidad de ser flexibles y cómo esta flexibilidad les determina un grado de subordinación de los proveedores a los compradores.

Tabla 16 Gobernanza de la investigación y desarrollo tecnológico en la cadena global

Eslabón de la cadena / Características gobernanza	Complejidad de las transacciones: Especificidad de las transacciones			Capacidad de codificación: Capacidad de comprender y transmitir información			Competencia del proveedor: Flexibilidad / Grado de subordinación de los proveedores a los compradores			Tipo de Gobernanza
Investigación y desarrollo tecnológico	¿Los productos/servicios o procesos son complejos?	Si	Alto	¿El conocimiento que se requiere en las organizaciones para realizar sus actividades presentan pocos cambios con respecto al tiempo?	No	Bajo	¿Las empresas que realizan esta actividad pueden proveer servicios/productos a otros sectores?	Si	Alto	Relacional
	¿Existen normas y/o estándares de proceso y/o productos relacionados a sus actividades principales?	No	Alto	¿Es relevante el conocimiento empírico para realizar sus actividades?	No	Alto	¿Las empresas realizan acuerdos de exclusividad con el comprador?	Si	Bajo	
	¿Se requieren activos intangibles (patentes, marcas, derechos de autor, fondo de comercio, dominios de internet, franquicias, etc.) para poder realizar las transacciones entre las organizaciones?	Si	Alto	¿El conocimiento tácito es codificable?	Si	Alto	¿La infraestructura que tienen las organizaciones limitan su entrada y permanencia a este eslabón?	No	Alto	
	¿Se requiere de conocimientos complejos para que las organizaciones realicen sus actividades?	Si	Alto	¿Existen manuales para la realización de las actividades?	No	Bajo	¿Las capacidades del personal son barrera para adaptarse a nuevos requerimientos y cumplirlos en tiempo y forma?	No	Alto	
	¿Se requiere de activos estructurales específicos para	Si	Alto	¿Existen "buenas prácticas" relacionadas a las actividades	No	Bajo	¿Los procesos y programas de mejora continua son relevantes	Si	Bajo	

	que las organizaciones realicen sus actividades?			realizadas? ¿Se encuentran codificadas y son conocidas?			para la permanencia de las organizaciones en el sector?		
	¿Es fácil valorar económicamente las transacciones entre las organizaciones?	No	Alto						
	Valoración final de la complejidad de las transacciones en el eslabón		Alto	Valoración final de la capacidad de codificación en el eslabón	Bajo		Valoración final de la competencia del proveedor en el eslabón		Alto

El proceso de investigación y desarrollo tecnológico presenta una gobernanza del tipo relacional, caracterizada por interacciones complejas entre compradores y vendedores, lo cual genera una dependencia mutua y altos niveles de especificidad de activos. Para el caso específico de este eslabón, la especificidad de los activos se debe principalmente a:

- 1) los altos requerimientos técnicos, científicos y tecnológicos de las operaciones – La infraestructura, las capacidades científicas y tecnológicas de los centros de investigación y el acceso a materiales son factores críticos para el desarrollo de nueva tecnología. Si alguno de estos recursos no se cumple, la capacidad de desarrollo tecnológico disminuye drásticamente.
- 2) la sensibilidad de la información compartida - la información es limitada debido al uso de patentes, en este mismo sentido, la codificación de la información es baja (los investigadores dan a conocer las líneas de investigación de cada uno de los centros, sin otorgar información específica al respecto de cómo realizar cada uno de sus productos).
- 3) los costos de transacción de investigación, contratos y garantías – dada la secrecía de la información, los centros de investigación requieren realizar una investigación exhaustiva relacionada con la reputación y capacidad de cooperar de otras instituciones. Uno de los costos de transacción más relevantes en este eslabón es la protección y transferencia de los activos intangibles (patentes).

Los niveles de especificidad de este eslabón se gestionan a través del establecimiento de relaciones basadas en reputación y confianza.

Fuente: Elaboración propia, caracterización de las cadenas basada en los tipos de gobernanza presentados en Gereffi, Humphrey, & Sturgeon, The governance of global value chains, 2005.

Tabla 17 Gobernanza de los proveedores de componentes en la cadena global

Eslabón de la cadena / Características gobernanza	Complejidad de las transacciones: Especificidad de las transacciones		Capacidad de codificación: Capacidad de comprender y transmitir información			Competencia del proveedor: Flexibilidad / Grado de subordinación de los proveedores a los compradores			Tipo de Gobernanza	
	Si	Alto	No	Alto	Si	Alto	No	Alto		
Proveedores de componentes	¿Los productos/servicios o procesos son complejos?	Si	Alto	¿El conocimiento que se requiere en las organizaciones para realizar sus actividades presentan pocos cambios con respecto al tiempo?	No	Alto	¿Las empresas que realizan esta actividad pueden proveer servicios/productos a otros sectores?	Si	Alto	Cautivo
	¿Existen normas y/o estándares de proceso y/o productos relacionados a sus actividades principales?	Si	Bajo	¿Es relevante el conocimiento empírico para realizar sus actividades?	No	Alto	¿Las empresas realizan acuerdos de exclusividad con el comprador?	No	Alto	
	¿Se requieren activos intangibles para poder realizar las transacciones entre las organizaciones?	Si	Alto	¿El conocimiento tácito es codificable?	Si	Alto	¿La infraestructura que tienen las organizaciones limitan su entrada y permanencia a este eslabón?	Si	Bajo	
	¿Se requiere de conocimientos complejos para que las organizaciones realicen sus actividades?	Si	Alto	¿Existen manuales para la realización de las actividades?	Si	Alto	¿Las capacidades del personal son barrera para adaptarse a nuevos requerimientos y cumplirlos en tiempo y forma?	Si	Bajo	
	¿Se requiere de activos estructurales específicos para que las organizaciones realicen sus actividades?	Si	Alto	¿Existen "buenas prácticas" relacionadas a las actividades realizadas? ¿Se encuentran	Si	Alto	¿Los procesos y programas de mejora continua son relevantes para la permanencia de las organizaciones en el sector?	Si	Bajo	

			codificadas y son conocidas?						
	¿Es fácil valorar económicamente las transacciones entre las organizaciones?	Si	Bajo						
	Valoración final de la complejidad de las transacciones en el eslabón		Alto	Valoración final de la capacidad de codificación en el eslabón		Alto	Valoración final de la competencia del proveedor en el eslabón		Bajo
<p>El proceso de proveeduría de componentes presenta una gobernanza del tipo cautiva, caracterizada por un alto grado de seguimiento y control por parte de las empresas líderes. Este control es ejercido debido a la alta especificidad de los productos y los requerimientos técnicos y de conocimientos que requieren las empresas para producir. Dos de los elementos críticos de este eslabón son: 1) la capacidad de las empresas de extraer los minerales del subsuelo y procesarlos dentro del mismo territorio (China) y 2) la capacidad de producir a gran escala. Ambos elementos permiten a las grandes empresas reducir los costos de producción y limitar el acceso de las empresas pequeñas.</p> <p>El control ejercido por las empresas chinas dirige parcialmente al mercado, pues, pese a que China no tiene injerencia en el establecimiento de los criterios técnicos para controlar la producción de módulos, sus acciones relacionadas con la proveeduría de insumos son capaces de modificar los precios mundiales, como sucedió con la explosión de la fábrica china en 2020.</p>									

Fuente: Elaboración propia, caracterización de las cadenas basada en los tipos de gobernanza presentados en Gereffi, Humphrey, & Sturgeon, The governance of global value chains, 2005.

Tabla 18 Gobernanza de la manufactura de componentes en la cadena global

Eslabón de la cadena / Características de gobernanza	Complejidad de las transacciones: Especificidad de las transacciones		Capacidad de codificación: Capacidad de comprender y transmitir información			Competencia del proveedor: Flexibilidad / Grado de subordinación de los proveedores a los compradores			Tipo de Gobernanza	
Manufactura de componentes	¿Los productos/servicios o procesos son complejos?	Si	Alto	¿El conocimiento que se requiere en las organizaciones para realizar sus actividades presentan pocos cambios con respecto al tiempo?	Si	Bajo	¿Las empresas que realizan esta actividad pueden proveer servicios/productos a otros sectores?	Si	Alto	Modular
	¿Existen normas y/o estándares de proceso y/o productos relacionados a sus actividades principales?	Si	Bajo	¿Es relevante el conocimiento empírico para realizar sus actividades?	No	Alto	¿Las empresas realizan acuerdos de exclusividad con el comprador?	No	Alto	
	¿Se requieren activos intangibles para poder realizar las transacciones entre las organizaciones?	Si	Alto	¿El conocimiento tácito es codificable?	Si	Alto	¿La infraestructura que tienen las organizaciones limitan su entrada y permanencia a este eslabón?	Si	Bajo	
	¿Se requiere de conocimientos complejos para que las organizaciones realicen sus actividades?	Si	Alto	¿Existen manuales para la realización de las actividades?	Si	Alto	¿Las capacidades del personal son barrera para adaptarse a nuevos requerimientos y cumplirlos en tiempo y forma?	No	Alto	
	¿Se requiere de activos estructurales específicos para que las organizaciones realicen sus actividades?	Si	Alto	¿Existen "buenas prácticas" relacionadas a las actividades realizadas?	Si	Alto	¿Los procesos y programas de mejora continua son relevantes para la permanencia de las organizaciones en el sector?	Si	Bajo	

	¿Es fácil valorar económicamente las transacciones entre las organizaciones?	No	Alto	¿Las buenas prácticas se encuentran codificadas y son conocidas?	No	Bajo			
	Valoración final de la complejidad de las transacciones en el eslabón		Alto	Valoración final de la capacidad de codificación en el eslabón		Alto	Valoración final de la competencia del proveedor en el eslabón		Alto

El **eslabón de manufactura de componentes** presenta una gobernanza del tipo modular, caracterizada por la fabricación de productos de especificidad media. En esta sección, los proveedores asumen la plena responsabilidad de las competencias relacionadas con la tecnología de procesos, utilizan maquinaria genérica que limita las inversiones específicas de transacciones. Algo relevante de este eslabón es el cambio tecnológico continuo que promueve la reducción de costos. Si bien es posible mantener la misma infraestructura durante un periodo considerable de tiempo, las actualizaciones de procesos e infraestructura permiten a las empresas realizar los procesos con mayor automatización, lo cual mejora los procesos en términos de costo-eficiencia de materiales y reduce la cantidad de personal, así como su nivel de preparación técnica y científica a lo largo de las operaciones de este eslabón.

La transferencia de información dentro de las empresas pertenecientes a este eslabón es ágil, debido a que los procesos de manufactura y ensamblaje, así como de los productos en que derivan éstos (modulo fotovoltaicos), deben de cumplir con estándares para ser competitivos en el mercado mundial y ser considerados seguros y eficientes. En caso de no cumplirlos, los módulos tienen la oportunidad de ingresar a pequeños mercados, principalmente locales, cuyos requerimientos técnicos no son estrictos y cuya instalación no garantiza el tiempo de vida del panel ni la seguridad del lugar donde es instalado.

La experiencia acumulada de las empresas ensambladoras les permite satisfacer las demandas del comprador, en relación con sus requerimientos específicos. Es decir, existe un mercado mundial cuyos estándares están establecidos por las instituciones reguladoras a nivel mundial, por lo que las pequeñas ensambladoras se alinean a estas condiciones; no obstante, pueden atender segmentos del mercado cuyas especificaciones de producción sean diferentes (como es el caso de los módulos empleados para la iluminación pública y los módulos empleados en comunidades fuera de la red).

Fuente: Elaboración propia, caracterización de las cadenas basada en los tipos de gobernanza presentados en Gereffi, Humphrey, & Sturgeon, The governance of global value chains, 2005.

Tabla 19 Gobernanza de la distribución en la cadena global

Eslabón de la cadena / Características de gobernanza	Complejidad de las transacciones: Especificidad de las transacciones		Capacidad de codificación: Capacidad de comprender y transmitir información		Competencia del proveedor: Flexibilidad / Grado de subordinación de los proveedores a los compradores		Tipo de Gobernanza			
	No	Bajo	Si	Bajo	Si	Alto				
Distribución	¿Los productos/servicios o procesos son complejos?	No	Bajo	¿El conocimiento que se requiere en las organizaciones para realizar sus actividades presentan pocos cambios con respecto al tiempo?	Si	Bajo	¿Las empresas que realizan esta actividad pueden proveer servicios/productos a otros sectores?	Si	Alto	Mercados
	¿Existen normas y/o estándares de proceso y/o productos relacionados a sus actividades principales?	Si	Bajo	¿Es relevante el conocimiento empírico para realizar sus actividades?	No	Alto	¿Las empresas realizan acuerdos de exclusividad con el comprador?	No	Alto	
	¿Se requieren activos intangibles para poder realizar las transacciones entre las organizaciones?	No	Bajo	¿El conocimiento tácito es codificable?	Si	Alto	¿La infraestructura que tienen las organizaciones limitan su entrada y permanencia a este eslabón?	No	Alto	
	¿Se requiere de conocimientos complejos para que las organizaciones realicen sus actividades?	No	Bajo	¿Existen manuales para la realización de las actividades?	Si	Alto	¿Las capacidades del personal son barrera para adaptarse a nuevos requerimientos y cumplirlos en tiempo y forma?	No	Alto	

	¿Se requiere de activos estructurales específicos para que las organizaciones realicen sus actividades?	No	Bajo	¿Existen "buenas prácticas" relacionadas a las actividades realizadas?	Si	Alto	¿Los procesos y programas de mejora continua son relevantes para la permanencia de las organizaciones en el sector?	No	Alto
	¿Es fácil valorar económicamente las transacciones entre las organizaciones?	Si	Bajo	¿Las buenas prácticas se encuentran codificadas y son conocidas?	No	Bajo			
	Valoración final de la complejidad de las transacciones en el eslabón		Bajo	Valoración final de la capacidad de codificación en el eslabón		Alto	Valoración final de la competencia del proveedor en el eslabón		Alto

El **eslabón de distribución** presenta dos tipos de gobernanza. La primera es de tipo de mercado, la cual se caracteriza por actividades de baja especificidad y fácil transmisión del conocimiento. Dado que el eslabón precedente establece los criterios técnicos mínimos para considerar a un módulo como seguro o eficiente, en este eslabón, la diferenciación entre los productos es mínima y por ende se compite por precios.

Una característica interesante de este eslabón es que, si bien las empresas tienen la flexibilidad de distribuir sus productos a diferentes organizaciones o países disminuyendo de esta forma su grado de subordinación de los proveedores a los compradores, en el caso de los compradores se observa la condición contraria, es decir, existe un grado de subordinación determinada por el precio y dominada por el mercado Chino, quien se encuentra integrado de forma vertical y continua estableciendo la tendencia de bajar los costos de los módulos, eliminando la competencia que no es capaz de adaptarse a estas condiciones.

Bajo estas condiciones observamos que la segunda condición se trata de una condición de compradores cautivos que, dadas las condiciones de mercado, buscan el precio más bajo para incrementar sus ganancias y teniendo, por lo general, a los productores chinos como opción más barata dentro del mercado (múltiples empresas).

Fuente: Elaboración propia, caracterización de las cadenas basada en los tipos de gobernanza presentados en Gereffi, Humphrey, & Sturgeon, The governance of global value chains, 2005.

Tabla 20 Gobernanza de la planeación en la cadena global

Eslabón de la cadena / Características gobernanza	Complejidad de las transacciones: Especificidad de las transacciones		Capacidad de codificación: Capacidad de comprender y transmitir información		Competencia del proveedor: Flexibilidad / Grado de subordinación de los proveedores a los compradores		Tipo de Gobernanza	
	Si	Alto	No	Alto	Si	Alto		
Planeación (diseño y financiamiento)	¿Los productos/servicios o procesos son complejos?	Si	Alto	¿El conocimiento que se requiere en las organizaciones para realizar sus actividades presentan pocos cambios con respecto al tiempo?	No	Alto	Mercados	
	¿Existen normas y/o estándares de proceso y/o productos relacionados a sus actividades principales?	Si	Bajo	¿Es relevante el conocimiento empírico para realizar sus actividades?	Si	Bajo		
	¿Se requieren activos intangibles (patentes, marcas, derechos de autor, fondo de comercio, dominios de internet, franquicias, etc.), para poder realizar las transacciones entre las organizaciones?	No	Bajo	¿El conocimiento tácito es codificable?	Si	Alto		
	¿Se requiere de conocimientos complejos para que las organizaciones realicen sus actividades?	Si	Alto	¿Existen manuales para la realización de las actividades?	Si	Alto		
						¿Las empresas que realizan esta actividad pueden proveer servicios/productos a otros sectores?	Si	Alto
						¿Las empresas realizan acuerdos de exclusividad con el comprador?	No	Alto
						¿La infraestructura que tienen las organizaciones limitan su entrada y permanencia a este eslabón?	No	Alto
						¿Las capacidades del personal son barrera para adaptarse a nuevos	No	Alto

							requerimientos y cumplirlos en tiempo y forma?		
	¿Se requiere de activos estructurales específicos para que las organizaciones realicen sus actividades?	No	Bajo	¿Existen "buenas prácticas" relacionadas a las actividades realizadas?	Si	Alto	¿Los procesos y programas de mejora continua son relevantes para la permanencia de las organizaciones en el sector?	No	Alto
	¿Es fácil valorar económicamente las transacciones entre las organizaciones?	Si	Bajo	¿Las buenas prácticas se encuentran codificadas y son conocidas?	Si	Alto			
	Valoración final de la complejidad de las transacciones en el eslabón		Bajo	Valoración final de la capacidad de codificación en el eslabón		Alto	Valoración final de la competencia del proveedor en el eslabón		Alto

La **fase de planeación** presenta una gobernanza del tipo de mercado, caracterizada por la prestación de servicios de especificidad media. Las personas cuyo entrenamiento técnico sea la planificación y dimensionamiento de proyectos solares (técnicos superiores universitarios, ingenieros en energías renovables e incluso técnicos especializados en instalaciones) pueden realizar el dimensionamiento y planificación de forma sencilla; no obstante, el conocimiento relacionado con el acceso al financiamiento es limitado y por lo general es transmitida de forma tácita. Por otro lado, las actividades de planificación, diseño y financiamiento se realizan a través de procesos estandarizados de forma interna dentro de la empresa, y en el caso de las empresas que acceden a fondos de financiamiento específicos, se siguen los procesos establecidos por las fuentes de financiamiento. Considerando las condiciones de la política energética nacional, hablamos de una cantidad relevante de empresas que planifican, instalan y operan proyectos solares, principalmente a pequeña y mediana escala, que se rigen a través de una competencia de precios.

Fuente: Elaboración propia, caracterización de las cadenas basada en los tipos de gobernanza presentados en Gereffi, Humphrey, & Sturgeon, The governance of global value chains, 2005.

Tabla 21 Gobernanza de la fase de Ingeniería, construcción e instalación en la cadena global

Eslabón de la cadena / Características gobernanza	Complejidad de las transacciones: Especificidad de las transacciones			Capacidad de codificación: Capacidad de comprender y transmitir información			Competencia del proveedor: Flexibilidad / Grado de subordinación de los proveedores a los compradores			Tipo de Gobernanza
Ingeniería, construcción e instalación	¿Los productos/servicios o procesos son complejos?	No	Bajo	¿El conocimiento que se requiere en las organizaciones para realizar sus actividades presentan pocos cambios con respecto al tiempo?	Si	Bajo	¿Las empresas que realizan esta actividad pueden proveer servicios/productos a otros sectores?	Si	Alto	Mercados
	¿Existen normas y/o estándares de proceso y/o productos relacionados a sus actividades principales?	Si	Bajo	¿Es relevante el conocimiento empírico para realizar sus actividades?	No	Alto	¿Las empresas realizan acuerdos de exclusividad con el comprador?	No	Alto	
	¿Se requieren activos intangibles (patentes, marcas, derechos de autor, fondo de comercio, dominios de internet, franquicias, etc.), para poder realizar las transacciones entre las organizaciones?	No	Bajo	¿El conocimiento tácito es codificable?	Si	Alto	¿La infraestructura que tienen las organizaciones limitan su entrada y permanencia a este eslabón?	No	Alto	
	¿Se requiere de conocimientos complejos	No	Bajo	¿Existen manuales para la realización de las actividades?	Si	Alto	¿Las capacidades del personal son barrera para adaptarse a nuevos	No	Alto	

	para que las organizaciones realicen sus actividades?						requerimientos y cumplirlos en tiempo y forma?		
	¿Se requiere de activos estructurales específicos para que las organizaciones realicen sus actividades?	No	Bajo	¿Existen "buenas prácticas" relacionadas a las actividades realizadas?	Si	Alto	¿Los procesos y programas de mejora continua son relevantes para la permanencia de las organizaciones en el sector?	No	Alto
	¿Es fácil valorar económicamente las transacciones entre las organizaciones?	Si	Bajo	¿Las buenas prácticas se encuentran codificadas y son conocidas?	No	Bajo			
	Valoración final de la complejidad de las transacciones en el eslabón		Bajo	Valoración final de la capacidad de codificación en el eslabón		Alto	Valoración final de la competencia del proveedor en el eslabón		Alto
<p>La fase de ingeniería, construcción e instalación presenta una gobernanza del tipo de mercado, caracterizada por la prestación de servicios de especificidad baja a media. Las personas cuyo entrenamiento técnico sea las instalaciones eléctricas, tienen los conocimientos prácticos necesarios para realizarlo, sin embargo, no siempre cuentan con el conocimiento de las normativas y las mejores prácticas de instalación. A nivel pequeños y medianos proyectos, dado que no existe una normativa obligatoria, ni penalizaciones por no realizar los proyectos con forme a las buenas prácticas de instalación, los proveedores de estos servicios se rigen por el precio.</p> <p>Adicionalmente a la condición de mercados, este eslabón presenta un segundo tipo de gobernanza el cual puede ser del tipo 1) relacional, ya que casi siempre el planificador del eslabón previo subcontrata a empresas instaladoras o 2) jerárquico, pues la empresa se encuentra integrada a lo largo de la sección e instalación de la cadena.</p>									

Fuente: Elaboración propia, caracterización de las cadenas basada en los tipos de gobernanza presentados en Gereffi, Humphrey, & Sturgeon, The governance of global value chains, 2005.

Tabla 22 Gobernanza de las operaciones y mantenimiento en la cadena global

Eslabón de la cadena / Características gobernanza	Complejidad de las transacciones: Especificidad de las transacciones		Capacidad de codificación: Capacidad de comprender y transmitir información		Competencia del proveedor: Flexibilidad / Grado de subordinación de los proveedores a los compradores		Tipo de Gobernanza			
	No	Bajo	Si	Bajo	Si	Alto				
Operación y mantenimiento	¿Los productos/servicios o procesos son complejos?	No	Bajo	¿El conocimiento que se requiere en las organizaciones para realizar sus actividades presentan pocos cambios con respecto al tiempo?	Si	Bajo	¿Las empresas que realizan esta actividad pueden proveer servicios/productos a otros sectores?	Si	Alto	Mercados
	¿Existen normas y/o estándares de proceso y/o productos relacionados a sus actividades principales?	No	Alto	¿Es relevante el conocimiento empírico para realizar sus actividades?	No	Alto	¿Las empresas realizan acuerdos de exclusividad con el comprador?	No	Alto	
	¿Se requieren activos intangibles (patentes, marcas, derechos de autor, fondo de comercio, dominios de internet, franquicias, etc.), para poder realizar las transacciones entre las organizaciones?	No	Bajo	¿El conocimiento tácito es codificable?	Si	Alto	¿La infraestructura que tienen las organizaciones limitan su entrada y permanencia a este eslabón?	No	Alto	
	¿Se requiere de conocimientos complejos para que las organizaciones realicen sus actividades?	No	Bajo	¿Existen manuales para la realización de las actividades?	Si	Alto	¿Las capacidades del personal son barrera para adaptarse a nuevos requerimientos y cumplirlos en tiempo y forma?	No	Alto	

	¿Se requiere de activos estructurales específicos para que las organizaciones realicen sus actividades?	No	Bajo	¿Existen "buenas prácticas" relacionadas a las actividades realizadas?	Si	Alto	¿Los procesos y programas de mejora continua son relevantes para la permanencia de las organizaciones en el sector?	No	Alto
	¿Es fácil valorar económicamente las transacciones entre las organizaciones?	Si	Bajo	¿Las buenas prácticas se encuentran codificadas y son conocidas?	No	Bajo			
	Valoración final de la complejidad de las transacciones en el eslabón		Bajo	Valoración final de la capacidad de codificación en el eslabón		Alto	Valoración final de la competencia del proveedor en el eslabón		Alto
<p>La fase de operaciones y mantenimiento presenta una gobernanza del tipo de mercado, caracterizada por la prestación de servicios de especificidad baja. Por lo general los mantenimientos son realizados por técnicos electricistas u otro profesional cuya área de conocimiento se encuentre relacionada con instalaciones eléctricas. De la misma forma que el eslabón anterior, este proceso presenta un segundo tipo de gobernanza el cual puede ser del tipo 1) relacional, puesto que casi siempre el planificador del eslabón previo subcontrata a empresas instaladoras o 2) jerárquico, pues la empresa se encuentra integrada a lo largo de la sección e instalación de la cadena.</p>									

Fuente: Elaboración propia, caracterización de las cadenas basada en los tipos de gobernanza presentados en Gereffi, Humphrey, & Sturgeon, The governance of global value chains, 2005.

Tabla 23 Gobernanza del desmantelamiento en la cadena global

Eslabón de la cadena / Características gobernanza	Complejidad de las transacciones: Especificidad de las transacciones		Capacidad de codificación: Capacidad de comprender y transmitir información		Competencia del proveedor: Flexibilidad / Grado de subordinación de los proveedores a los compradores		Tipo de Gobernanza			
	Si	Alto	Si	Bajo	Si	Alto				
Desmantelamiento	¿Los productos/servicios o procesos son complejos?	Si	Alto	¿El conocimiento que se requiere en las organizaciones para realizar sus actividades presentan pocos cambios con respecto al tiempo?	Si	Bajo	¿Las empresas que realizan esta actividad pueden proveer servicios/productos a otros sectores?	Si	Alto	Modular
	¿Existen normas y/o estándares de proceso y/o productos relacionados a sus actividades principales?	Si	Bajo	¿Es relevante el conocimiento empírico para realizar sus actividades?	No	Alto	¿Las empresas realizan acuerdos de exclusividad con el comprador?	No	Alto	
	¿Se requieren activos intangibles para poder realizar las transacciones entre las organizaciones?	No	Bajo	¿El conocimiento tácito es codificable?	Si	Alto	¿La infraestructura que tienen las organizaciones limitan su entrada y permanencia a este eslabón?	Si	Bajo	
	¿Se requiere de conocimientos complejos para que las organizaciones realicen sus actividades?	Si	Alto	¿Existen manuales para la realización de las actividades?	Si	Alto	¿Las capacidades del personal son barrera para adaptarse a nuevos requerimientos y cumplirlos en tiempo y forma?	No	Alto	
	¿Se requiere de activos estructurales específicos para que las organizaciones realicen sus actividades?	Si	Alto	¿Existen "buenas prácticas" relacionadas a las actividades realizadas?	Si	Alto	¿Los procesos y programas de mejora continua son relevantes para la permanencia de las organizaciones en el sector?	No	Alto	

	¿Es fácil valorar económicamente las transacciones entre las organizaciones?	Si	Bajo	¿Las buenas prácticas se encuentran codificadas y son conocidas?	No	Bajo			
	Valoración final de la complejidad de las transacciones en el eslabón		Alto	Valoración final de la capacidad de codificación en el eslabón		Alto	Valoración final de la competencia del proveedor en el eslabón		Alto
<p>La fase de desmantelamiento y reciclaje presenta una gobernanza del tipo modular, caracterizada por la prestación de servicios de especificidad media. Si bien los procesos de desmantelamiento y reciclaje aún no se realizan en el país, estos procesos han comenzado a realizarse en España y otros países de adopción temprana cuyos módulos fueron instalados hace más de 20 años. Se desconocen las empresas líderes de este eslabón y se desconoce el impacto económico que pueda tener, aunque se sabe que el impacto ambiental por no reciclar los módulos puede ser alto.</p> <p>Dados los elementos que componen a un panel, al ser desechados, deben de considerarse como residuos especiales, los cuales conllevan un proceso de tratamiento específico. En este sentido, las empresas que podrían integrarse a este eslabón de la cadena serían empresas de manejo de residuos, las cuales tienen, por ley, que obedecer normativas para el manejo de residuos.</p>									

Fuente: Elaboración propia, caracterización de las cadenas basada en los tipos de gobernanza presentados en Gereffi, Humphrey, & Sturgeon, The governance of global value chains, 2005.

F. Conclusiones

La industria solar fotovoltaica se encuentra en una etapa transitoria entre crecimiento y madurez, y está compuesta por un grupo de organizaciones que obtienen, transforman o transportan la energía del sol, y emplean tecnologías que producen electricidad usando materiales fotovoltaicos basados en semiconductores (Bloomberg Finance, 2020). Las ventajas principales de esta industria son: el abastecimiento barato y limpio, así como la expansión de capacidad de producción de energía dentro y fuera de las redes nacionales.

El principal elemento de esta industria es el módulo fotovoltaico, compuesto de celdas de silicio de grado solar interconectadas, y el cual puede representar, aproximadamente, el 70% del costo de un sistema fotovoltaico (Green Rhino Energy, 2020). La industria se caracteriza por ser altamente competitiva y tener una tendencia creciente de consumo y producción a nivel mundial a causa de, principalmente, la caída del precio de las celdas fotovoltaicas.

La cadena global de valor de la energía solar analizada en este capítulo se divide en 2 segmentos, cada uno integrado verticalmente por instituciones de diferente índole. Conforme los eslabones de la cadena de valor avanzan hacia las actividades finales, existe una disminución de requerimientos técnicos y científicos para el desarrollo de las actividades.

- 1) Segmento I: Generación de insumos. Dominada por un conjunto de empresas chinas que se integran verticalmente a lo largo del suministro de insumos tangibles (desde la extracción y purificación del silicio hasta la distribución mundial de los módulos) y cuyas decisiones comerciales y de producción tienen grandes impactos para el desarrollo de la industria global. Este segmento tiene requerimientos técnicos, científicos y tecnológicos que permiten a las empresas líderes producir en grandes volúmenes, reducir sus costos de producción y establecer barreras de entrada y permanencia a los pequeños y medianos productores.
- 2) Segmento II: Instalación. Este segmento es dependiente de la política energética de cada país y la escala a la cual se implementan los proyectos, por el crecimiento y mantenimiento de esta sección están relacionados a: 1) las condiciones contextuales de cada región, 2) la cantidad de instituciones que promuevan el uso de energías renovables en cada país, y 3) la aceptabilidad de estas tecnologías en la región.

Para el caso específico de México, el enfoque de la política energética del sexenio 2018-2024, así como los decretos y acuerdos gubernamentales emitidos durante este periodo, encaminan al país a expandir la implementación de proyectos solares priorizando el esquema de pequeña y mediana escala por encima de los megaproyectos solares. De esta forma, el segmento de

implementación, en el país, se encuentra dominado por empresas integradas verticalmente y caracterizadas por la acumulación de conocimiento tácito relacionado con los esquemas de financiamiento y la versatilidad de brindar servicios extra o complementarios a la instalación de módulos, como son los servicios de consultoría o estudios de eficiencia energética.

China es un jugador crítico para el desarrollo y estabilidad de la industria. Este país asiático tiene una alta participación en el mercado de la industria, lo cual le permite tener un nivel de injerencia importante tanto desde el lado de la demanda de productos⁶², como el de la oferta de insumos⁶³. Su posición estratégica gobierna de manera global a todas las instituciones relacionadas con la industria mediante una relación cautiva, donde la subordinación hacia China se debe a la compra de módulos o insumos como a la venta de los módulos.

El nivel de desarrollo de la industria, la integración vertical y la producción a escala son ventajas importantes para la permanencia y dominancia en el corto y mediano plazo, no obstante, a largo plazo, la innovación y el desarrollo tecnológico son las actividades más relevantes para la dominancia de la industria. La identificación de nuevos métodos, nuevos materiales o procesos de purificación cuyos requerimientos técnicos sean menores podría permitir que el control que establece China a nivel global cambie.

Como hemos observado, la innovación tiene una gobernanza del tipo relacional, la cual da un valor importante a la reputación y confianza que existe entre las empresas. Esta condición limita el ingreso de empresas nuevas, principalmente a aquellas provenientes de países en desarrollo, quienes comienzan con el desarrollo de capacidades técnicas para la instalación y tienen limitaciones financieras para el desarrollo de grandes laboratorios y centros de investigación. Empero, una forma de reducir la dependencia de los países en desarrollo a la cadena de suministro chino puede comenzar con la implementación de políticas energéticas que promueva la expansión de proyectos solares, la capacitación técnica para los procesos de instalación, el desarrollo de capacidades y la investigación y desarrollo tecnológico.

⁶² Anteriormente mencionamos el caso en que el gobierno chino prohibió el consumo de módulos nacionales dentro de su país y las consecuencias que derivaron de esta decisión política.

⁶³ La explosión de la planta de producción de polisilicio en China disminuyó el 10% de la producción global de este insumo, disminuyó la oferta mundial y aumentaron los precios de los módulos.

CAPÍTULO 2. LA CADENA LOCAL DE OAXACA: ANÁLISIS DE *UP-GRADING*

A. Condiciones territoriales y relevancia de la industria solar fotovoltaica en Oaxaca

I. Geografía, demografía y organización política del estado

Oaxaca se encuentra ubicado en la región suroeste del país. Limita con los estados de Puebla y Veracruz al norte, Chiapas al este, Guerrero al oeste y, al sur con el océano Pacífico (Figura 26). El territorio del estado ocupa el quinto lugar en extensión a nivel nacional, sin embargo, su densidad demográfica es baja. Cuenta con 570 municipios, de los cuales 418 se gobiernan bajo un sistema de autogobierno gestionado por un sistema de usos y costumbres. Su capital, también su ciudad más poblada, es la ciudad de Oaxaca de Juárez.

Figura 26 Ubicación geográfica del estado de Oaxaca



Fuente: Cuéntame INEGI. Monografía de Oaxaca. Obtenida el 22/01/2020 de <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/oax/default.aspx?tema=me%26e=20>

De acuerdo con la Encuesta Intercensal del INEGI en 2015, el estado cuenta con una población total de 3,967,889 personas, de las cuales el 52.4% son mujeres y el 47.6% hombres. El nivel de escolaridad de la entidad es de 7.7 años comparado con el promedio nacional de 9.4 años (Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2020). Adicionalmente, cuenta con un alto índice de

analfabetismo (10.9% de la población) comparado con un promedio nacional de 5.5% (ibid). El 32% de la población pertenece a una de las 17 etnias.

El clima del estado puede variar de manera drástica entre sus regiones. Además de ser uno de los estados más montañosos del país: en la región se cruzan la Sierra Madre Oriental, la Sierra Madre del Sur y la Sierra Atravesada. Las montañas se caracterizan por sus bajas temperaturas, la región del Istmo, la Cañada, y de la Costa se caracterizan por su clima cálido. Su río más importante es el Papaloapan, el cual se alimenta del Río Tomellín y el Río Santo Domingo, entre otros (INAFED, 2020).

II. Análisis económico y de innovación en la región

De acuerdo con el informe de información económica y estatal 2019, el Producto Interno Bruto (PIB) de Oaxaca en 2017 representó el 1.4% y ocupó el lugar 23, con respecto al total nacional. Sus actividades principales son: servicios inmobiliarios y de alquiler de bienes muebles e intangibles (17.8%); comercio al por menor (10.7%); construcción (9.3%); comercio al por mayor (8.0%); y, servicios educativos (7.7%). Juntas representan el 53.5% del PIB estatal. Sus sectores económicos prioritarios son: agroindustria, turismo, productos de madera, textil, energías renovables, productos para construcción y metalmecánica (minería), al ser los que tienen mayor posibilidad de desarrollarse y aportar económicamente al estado.

Considerando la escala del *Doing Business* 2016 del Banco Mundial, Oaxaca es el estado con menores facilidades para desarrollar negocios (se ubica en el lugar 32° del país). Las dificultades principales para el desarrollo empresarial se basan en la posibilidad de apertura de una empresa, la obtención de permisos de construcción, el registro de propiedades y el cumplimiento de contratos (Banco Mundial, 2020). No obstante estas condiciones, de enero a septiembre de 2018, la entidad atrajo una Inversión Extranjera Directa (IED) de 104.2 mdd, lo que representó el 0.4% del total nacional (Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2020).

En el Índice de Competitividad Estatal 2016 (ICE), el estado ocupó el lugar 31 de 32 a nivel nacional. Adicionalmente, se encuentra en la posición 30 de 32 en el Índice Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación 2015.

En términos de exportaciones, en 2017 Oaxaca ocupó el 27° lugar por el valor de sus exportaciones, las cuales alcanzaron un monto de 603,487 miles de dólares, lo que representó el 0.2% a nivel nacional. El subsector con mayor participación fue la fabricación de productos derivados del petróleo

y del carbón que representó el 88.8% respecto a las exportaciones totales de la entidad⁶⁴. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2020)

El Estado presenta dificultades para el desarrollo económico de su territorio. Si bien, los esfuerzos por exportar productos son relevantes, es uno de los estados más retrasados en términos de innovación, educación, capacidad para realizar negocios y generación de productos manufacturados. Es posible observar que el entorno social y económico limita el desarrollo empresarial, limitando muchos de los negocios a su permanencia en el sector informal. Esta condición persiste en los diferentes sectores económicos, incluyendo parte de las actividades de la cadena solar fotovoltaico.

III. Producción y consumo de energía en Oaxaca: la relevancia de las energías renovables en el Estado.

Oaxaca es el estado líder en la generación de energía a partir de fuentes renovables al producir el 43% del total del país⁶⁵. Más del 50% de la energía generada en el estado es producida a través de generadores eólicos ubicados en la región del Istmo y el restante de la energía proviene de la hidroeléctrica “Temascal” (CENACE, 2019).

Si bien, Oaxaca es reconocido por su potencial eólico⁶⁶, el estado cuenta con otras potencialidades de generación que no están siendo empleadas. De acuerdo con la Evaluación de Necesidades Regionales 2 publicada por la Secretaría de Energía, además del potencial de generación de energía eólica, el estado cuenta con áreas de especialización consolidadas en generación de energía solar fotovoltaica⁶⁷. Asimismo, tiene potencial en áreas de especialización transitivas: generación de energía mediante minihidroeléctricas, el uso de fuentes solares térmicas y el uso de biocombustibles; las cuales requieren de un grado mayor de maduración y difusión de las tecnologías para ser empleadas.

⁶⁴ El Estado tiene a la segunda refinería más relevante en términos de producción de petrolíferos a nivel nacional, la Refinería Antonio Dovalí Jaime. Esta refinería se encuentra en el municipio de Salina Cruz, y en 2013 produjo un total de 260 mil barriles diarios, es decir, cerca del 22 % del volumen total refinado en el país en dicho periodo. Los barriles producidos abastecen a los estados del litoral del Pacífico mexicano, aunque sus emisiones e impactos ambientales son absorbidos por el Estado de Oaxaca (Centro Mario Molina, 2013).

⁶⁵ En la entidad se genera el 66% de la energía eólica del país y es uno de los ocho estados con mayor generación de energía eléctrica a través de fuentes no contaminantes con 27.8% del total.

⁶⁶ A nivel nacional, Oaxaca se ha convertido en uno de los lugares más atractivos para la instalación de aerogeneradores por la sobresaliente velocidad media anual de los vientos (particularmente en el Istmo de Tehuantepec), la cual excede 10 m/s a 50 metros de altura sobre el terreno, siendo que en promedio en el mundo se aprovechan vientos de 6.5 m/s para la generación de energía (Secretaría de Energía, 2018).

⁶⁷ Las regiones Mixteca, Costa y Sierra Sur presentan un alto nivel de radiación similar a la de algunas zonas de Sonora, Durango y Chihuahua (lugares de mayor radiación en el país). Aproximadamente 12,720 km² conforma la franja de más alta radiación solar del estado (Secretaría de Energía, 2018).

Pese a su potencial y aporte energético, Oaxaca es el segundo estado más pobre del país y es el estado con el menor número de viviendas que cuentan con energía eléctrica a nivel nacional (INEGI, 2014. Perspectiva estadística Oaxaca). De acuerdo con los datos del INEGI (2015), las viviendas sin acceso a energía eléctrica llegaban a 52,147 (lo cual representaba el 5% del total estatal), aunado a ello, se identificó que más del 50% de estas viviendas se concentraba en localidades con menos de 500 habitantes, es decir, se identifica que existe una gran disparidad para el acceso a energía eléctrica entre las zonas urbanas y rurales del estado.

La desigualdad entre las condiciones de las áreas urbanas y áreas rurales ha obligado al Estado a establecer una política pública diferenciada, la cual contempla la atención de esta carencia ampliando el servicio energético mediante tecnología convencional en zonas urbanas y sistemas no convencionales, particularmente con base en módulos solares y dotación de energía para usos básicos, en las áreas rurales con localidades y viviendas dispersas (Biosfera Desarrollos & Coenergía, 2017). Sin embargo, las disparidades entre las regiones que cuentan con acceso a energía y las que no, han generado disputas relacionadas a la generación de energía, la explotación de los recursos y la inequidad social de los megaproyectos energéticos, en particular los proyectos eólicos de la zona del Istmo.

Actualmente, la zona del Istmo de Tehuantepec tiene dos modalidades en que los particulares solicitan explotar el recurso eólico: el autoabastecimiento y la producción independiente de energía (PIE), las cuales dadas las prioridades del sector energético y las condiciones de la red eléctrica nacional (tanto de saturación de la red, como de distribución) potencian el desarrollo desproporcionado entre las zonas urbanas y rurales. Algunos de los puntos críticos del descontento regional hacia estos proyectos se relacionan con lo siguiente (Juárez-Hernández & León, 2014): el contenido nacional empleado en las obras es principalmente extranjero, disminuyendo el consumo de productos nacionales; la creación de empleos es transitorio; la energía generada no es para uso local; la generación de segregación social entre personas que poseen tierras y pueden arrendarlas por remuneraciones monetarias, y aquellas que no reciben remuneración o no tienen tierras, y la afectación a la actividad agropecuaria (actividad económica de sustento más importante de la región).

Dada la diferencia zonal de acceso a la energía, se sabe que el centro de mayor consumo energético es el Municipio de Oaxaca de Juárez⁶⁸, el cual está dominado por el consumo del tipo doméstico y

⁶⁸ El municipio de Oaxaca de Juárez consume aproximadamente el 11.5% de la electricidad del estado. No obstante, cuenta solo con el 9.5% de los usuarios del estado (el consumo eléctrico promedio en 2013 ascendió a 1,098 kWh per cápita), de los cuales, en el municipio, el 79.5% son Domésticos (Secretaría de Energía, 2016).

seguido por el del tipo industrial y finalmente por el de servicios; los servicios públicos municipales consumen el 6.68% del total municipal de 294,330 MWh.

En términos de dotación, Oaxaca representa un espacio estratégico para la producción y consumo de energía solar. Considerando las condiciones sociales del estado y el rechazo actual a los megaproyectos energéticos en las zonas rurales, se abre la puerta al desarrollo de la actividad solar fotovoltaica de pequeña y mediana escala (para uso en vivienda, alumbrado público, servicios e industria) tanto en las zonas urbanas como en la de difícil acceso. El desarrollo de proyectos energéticos solares permite disminuir la brecha existente entre el acceso a la energía, la autonomía de su producción y las posibles limitaciones energéticas para la MIPYME local. De esta forma, identificamos que es posible desarrollar la cadena local, principalmente en los segmentos de la sección de instalación (fase 5: planeación, diseño y financiamiento hasta la fase 7: operación y mantenimiento).

IV. Análisis del medio ambiente

De acuerdo con el Programa Estatal de Cambio Climático de Oaxaca (2018), en 2013, el Estado emitió un aproximado de 19 millones de toneladas de bióxido de carbono equivalente (MtCO₂e)⁶⁹, lo cual corresponde a una contribución per cápita de 4.8 tCO₂e al año. Si bien su contribución de GEI es baja, el estado es altamente vulnerable ante los impactos del cambio climático, debido a su ubicación geográfica y orográfica, la cual tiene influencia por parte del Golfo de México y del Océano Pacífico, así como de dos zonas de formación de ciclones Golfo de Tehuantepec y Mar Caribe, y la influencia marina que favorece la existencia de condiciones climáticas muy diversas. La dispersión de las comunidades, el alto índice de rezago social y educativo, la pobreza y alta marginación que se vive en la entidad, así como la falta de una cultura de prevención del riesgo, acentúa significativamente la vulnerabilidad de la población al impacto de fenómenos derivados de eventos climáticos.

Se estima que las consecuencias del cambio climático en el estado se verán reflejados en la reducción de la lluvia media anual, el aumento gradual de la temperatura y la escasez del agua. Estas condiciones afectan los medios de vida de la población: de forma directa al disminuir acceso a sus satisfactores, como el agua, y de forma indirecta al disminuir la productividad de sus actividades económicas primarias de las comunidades más vulnerables y dispersas (actividades ganaderas y agrícolas) y al incrementar los vectores de transmisión de enfermedades virales como el dengue, zika, etc., (Semaedeso, 2018).

⁶⁹ Aproximadamente el 2.8% de emisiones nacionales en 2013.

Las principales fuentes generadoras de GEI del Estado en el 2013 fueron: 1) transporte con 3.64 MtCO₂e equivalente al 15% de las emisiones estatales, 2) quemas agrícolas y forestales con 2.82 MtCO₂e que representaban el 11% de las emisiones estatales y 3) ganadería con 2.62 MtCO₂e, que implicaban el 10% de las emisiones estatales. Se estima que para el 2022 Oaxaca mantenga una absorción de emisiones deficitaria⁷⁰ (Semaedeso, 2018).

En términos de emisiones de Carbono Negro (CN)⁷¹, la emisión del estado en 2013 se estima en poco más de 7,000 tCO₂e, siendo las principales fuentes generadoras las siguientes: quema residencial de leña (2,410 ton de CN que corresponden al 31% de las emisiones); quema de bagazo en ingenios azucareros (1,517 ton de CN representando el 19% de las emisiones estatales); e incendios forestales, 1,312 ton de CN equivalente 17% de las emisiones estatales).

Las condiciones de ubicación del estado y dispersión de las comunidades vulneran los medios de vida de las personas, principalmente en las zonas rurales y de difícil acceso en donde, además, cuentan con acceso limitado a servicios para paliar las consecuencias sociales y económicas del cambio climático, como son: acceso al agua, electricidad y drenaje. Por lo que se identifica la posibilidad de expandir los servicios de generación de energía solar distribuida/aislada, que por un lado permitan incrementar el acceso a la electricidad y con ello mejorar de los medios productivos de las regiones rurales y su posibilidad de adaptación al cambio climático, y por el otro, disminuir los impactos ambientales generados por dicha expansión energética.

B. La industria solar fotovoltaica en Oaxaca: composición de la cadena de valor

Considerando el *Plan de Desarrollo de Proveedores en las Cadenas Productivas de la Industria Eléctrica en el Sector de las Energías Alternativas en el Estado de Oaxaca* (2017), la *Evaluación de Necesidades Regionales 2* (2017), la *base de datos del Observatorio de Energías Limpias* de la Secretaría de Energía (2019), los *afiliados a la Asociación Nacional de Energía Solar* (ANES), el *directorio del clúster de Energía de Oaxaca*, directorios industriales relacionados con la proveeduría de servicios solares fotovoltaicos y servicios relacionados, el *Padrón Vigente de Empresas Especializadas FIDE*, la *lista de Proveedores participantes en el Programa Eco-Crédito Empresarial*

⁷⁰ Se estima que para 2022, el Estado emita al menos 21 MtCO₂e (11% más de MtCO₂e, en comparación de 2013). De igual manera, se estima que el balance de la absorción neta estimada sería de 16 MtCO₂e anuales, lo cual muestra la existencia de al menos 5 MtCO₂e anuales que no pueden ser absorbidas.

⁷¹ Contaminante climático de vida corta que tienen un importante potencial de calentamiento global y un tiempo de vida en la atmósfera más corto que el bióxido de carbono. Entre sus efectos reconocidos se encuentra la absorción de radiación, su influencia en los procesos de formación y en la dinámica de las nubes y alteración del proceso de derretimiento de la nieve y las cubiertas de hielo. Se produce por la combustión incompleta de combustibles fósiles como el diésel y el combustóleo, así como por la quema de leña y otra biomasa.

(PAEEEM) y el *Padrón de Programas de Calidad de CONACYT*, se identificaron un total de 28 actores relacionados a la industria solar fotovoltaica (*Tabla 15*). Todos los actores identificados se ubican en dos regiones del estado: los Valles Centrales y el Istmo, siendo los Valles Centrales la zona con mayor concentración.

El sector mapeado se compone de 5 organizaciones académicas tanto públicas como privadas que proveen de servicios de educación en los niveles técnico, superior y posgrado; 17 empresas locales, 2 asociaciones civiles y 4 instituciones reguladoras (tanto del sector gubernamental como asociaciones público-privadas).

Figura 27 Regiones de Oaxaca donde se encuentran los actores regionales



Fuente: Elaboración propia

En términos educativos, se identifican tres tipos de instituciones académicas públicas y privadas que articulan al sector: 1) las que capacitan a sus alumnos para el desarrollo de proyectos y la instalación de módulos, 2) las que capacitan a sus alumnos para la mejora de materiales y desarrollo de innovaciones tecnológicas, y 3) las que capacitan a personal para mejorar la articulación del sector.

En el primer grupo, se encuentran la Universidad Tecnológica de los Valles Centrales de Oaxaca (UTVCO) con su ingeniería en energías renovables, el Instituto Tecnológico de Oaxaca (ITO), con un curso específico para instalaciones fotovoltaicas en su plan de estudios de ingeniería eléctrica, el Instituto Tecnológico del Valle de Etla y el Centro de Capacitación Eléctrica y Energías Alternas (CCEEA) a través de sus capacitaciones relacionadas con la instalación de módulos y conexiones eléctricas y Solarvatio a través de capacitaciones relacionadas con la instalación de módulos. Si bien el nivel de profundidad del conocimiento es diferenciado entre las instituciones (variaciones desde capacitaciones cortas, materias y hasta carreras completas), las habilidades y conocimientos adquiridos son específicamente técnicos, es decir buscan promover en los alumnos las capacidades de instalación, revisión y adecuación de proyectos energéticos, no obstante, las capacidades de instalación aún se encuentran en desarrollo y requieren adquirir conocimientos específicos para el diseño, planeación e instalación de proyectos.

La Universidad de Istmo Campus Tehuantepec se encuentra como única institución perteneciente a la segunda categoría de instituciones académicas. A través de la Maestría en Energía Solar, los

estudiantes e investigadores buscan formas de mejorar los materiales y la eficiencia de los módulos solares existentes. Sin embargo, pese a la relevancia nacional del conocimiento producido, su capacidad educativa se ve limitada por la falta de equipos y materiales para realizar las investigaciones, por lo que dependen de la movilidad estudiantil y los convenios con otras universidades y centros de investigación para completar todas las actividades de experimentación y pruebas. La maestría cuenta con niveles de eficiencia terminal bajos debido a que los alumnos no cuentan con apoyos económicos que incentiven la permanencia de los mismos en el posgrado obligándolos a trabajar y estudiar a la par e invertir para el desarrollo de pruebas y estancias fuera del estado.

En el tercer grupo, se identifica únicamente a la Universidad de Istmo Campus Ixtepec con su Maestría en Derecho de la Energía, la cual desarrolla habilidades de análisis, investigación e interpretación de la reglamentación jurídica de la generación, distribución y consumo de la energía.

Desde el punto de vista empresarial, la industria solar fotovoltaica del estado se caracteriza por estar compuesta de MIPYMES enfocadas, principalmente, a los segmentos de instalación de la cadena de valor (fase 5 hasta fase 7). No obstante, más del 50% de las organizaciones se encuentran operando de manera informal y/o realizan las actividades de instalación de forma secundaria al giro oficial de la empresa. Es importante recalcar que, pese a la participación masiva de estas organizaciones dentro de la industria, su capacidad para la toma de decisiones dentro del sector es mínima o nula debido a que se rigen por una estructura delimitada por precios.

En el estado, al igual que en el país, se reconocen los estándares nacionales de competencias “CONOCER” para instalaciones eléctricas y de módulos fotovoltaicos, empero, la capacitación del personal es de carácter voluntario. Es decir, las empresas no precisan de especialización ni comprobación de conocimientos en instalación eléctrica para realizar proyectos fotovoltaicos. Esta condición divide la oferta de instaladores en dos grupos: aquellos cuyos requerimientos y conocimientos técnicos son comprobables y aquellos cuyos requerimientos y conocimientos técnicos no son comprobables⁷². Dada la inexistencia de una normativa técnica obligatoria, las instituciones de financiamiento funcionan como un agente regulador al ser ellas quienes delimitan las reglas de

⁷² La adquisición de conocimiento y reconocimiento técnico requiere de inversión, por lo que las empresas que cumplen con los requerimientos técnicos, por lo general, son empresas formalizadas y cuyas actividades son el desarrollo de proyectos energéticos.

Por el contrario, aquellas empresas que no cumplen con conocimiento técnico comprobable, por lo general son empresas que realizan las actividades de instalación fotovoltaica como una actividad secundaria, ya sea porque se dio una oportunidad espontánea o porque sus actividades principales se relacionan con el sector energético, por ejemplo, la distribución de materiales de construcción o materiales eléctricos.

operación de los fondos y las características mínimas necesarias que requieren las empresas para acceder a ellos. No obstante, la falta de homologación de requerimientos por parte de los financiadores ha generado que la credibilidad de la tecnología fotovoltaica y el desarrollo de los instaladores cuyas actividades principales son el desarrollo de proyectos energéticos se vea deteriorado⁷³.

Los compradores principales de este tipo de productos son consumidores domiciliarios (hogares) y el sector de servicios. El sector industrial rara vez consume los productos debido a la ausencia de beneficios percibidos. Uno de los elementos críticos para el desarrollo de proyectos es el financiamiento. Dado que la mayoría de los proyectos son consumidos por PYMES y hogares, la posibilidad de pagar a parcialidades u obtener descuentos representa una condición clave para que los consumidores decidan el lugar a donde se consumirá el servicio. Considerando esta condición, existe una ventaja por parte de aquellas organizaciones que cuentan con esquemas de financiamiento propio o quienes conocen y aplican financiamientos de terceros⁷⁴, como es el caso del FIDE, el Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRA), el crédito CIPanel Solar de CIBanco o el Crédito Negocio Sustentable de BANAMEX.

El FIDE es la fuente de financiamiento más reconocida entre los instaladores, y una de las más estrictas en términos técnicos. Esta institución establece tres criterios mínimos para tener la posibilidad de ingresar a su sistema: 1) formalización de la organización instaladora, 2) certificación de al menos uno de sus instaladores principales con el estándar de competencias de CONOCER “EC0586 Instalación de sistemas fotovoltaicos en residencia, comercio e industria” y el “EC0431 Promoción de ahorro en el desempeño integral de los sistemas energéticos de la vivienda” y 3) estabilidad financiera de la organización.

Como hemos mencionado con anterioridad, el desarrollo de los eslabones *V. Planeación (diseño y financiamiento)*, *VI. Ingeniería, construcción e instalación* y *VII. Operación y mantenimiento*, se encuentran estrechamente relacionados con el precio, por lo que la estructura de costos de los proyectos es crítica. Los elementos más caros de una instalación son los módulos fotovoltaicos y los inversores, no obstante, los costes por elemento varían con respecto a la cantidad de energía que se

⁷³ La inexistencia de requerimientos técnicos obligatorios y regulados por una institución específica ha generado una desvalorización de los conocimientos técnicos para la instalación, los cuales se observan a través de proyectos con sobre y subdimensionamiento, explosiones e incendios de instalaciones e incluso instalaciones de módulos cuya orientación se encuentra en contra de la radiación solar (ENERGETEC, APRES, SOLARVATIO, CCEA, & SOL, 2020).

⁷⁴ Durante las entrevistas, se mencionó que el gobierno del Estado en conjunto con BanOaxaca proponían desarrollar créditos para los instaladores, no obstante, el proyecto no progresó y se quedó establecida como una idea no concluida.

pretenda generar. Dada la variación en los costos, muchos instaladores prefieren realizar actividades de subcontratación por proyecto, es decir los trabajos generados en estos segmentos son de carácter temporal (la cantidad de empleos generados y el tiempo de contratación dependen del tamaño de la instalación). Estas acciones de outsourcing ponen en desventaja a empresas cuyos trabajadores se encuentran en la plantilla de las empresas, fomentando más la informalidad y la realización de acciones que actualmente se consideran fuera de la ley.

Considerando una cotización presentada hacia el FIDE para una producción de energía anual equivalente a 277,777.27 kWh, se estima que el 35% del costo del proyecto correspondería a los módulos fotovoltaicos, 22% a los inversores, 14% a la infraestructura y 29% a mano de obra derivada de fletes, instalación, entre otros. Se estima que un proyecto solar contiene un aproximado de 16.80% de contenido nacional por módulo distribuido entre estructuras (principalmente estructuras de aluminio) y mano de obra (Espinosa, 2020).

El costo de instalación de un proyecto en el estado se encuentra alrededor de 1.30-1.50 USD/W instalado, siendo que la media de costos nacional se encuentra en 0.8 – 1.3 USD / W instalado. La diferencia de los costos se debe a la ausencia de personal y competencia dentro del estado. De acuerdo con las entrevistas, Solarvatio y Enalto Solar son las empresas que cuentan con una mayor cuota de mercado.

Adicionalmente a la presencia de empresas instaladoras, resalta la existencia de una empresa ubicada en el segmento de generación de insumos – Solarvatio⁷⁵ - la cual incursiona en el eslabón de ensamblaje de módulos. Esta se trata de una empresa mediana con una capacidad de 30-35 empleados de planta (Solarvatio, 2020). Esta institución distribuye módulos a nivel regional y exporta a partes de Centroamérica, no obstante, de acuerdo con la entrevista realizada a su dueño, los módulos que producen se distribuyen principalmente a nivel local. Como hemos mencionado previamente, las celdas fotovoltaicas de silicio son tecnologías maduras, caracterizadas por desarrollos que permitan disminuir cada vez más sus costos. La empresa se enfrenta a grandes retos, dado que su tecnología de ensamblaje no puede adaptarse rápidamente a las modificaciones tecnológicas y de manera constante afectan su capacidad de mantenerse competitivos en el mercado. Los insumos principales de sus

⁷⁵ En el país se conoce la existencia de al menos ocho empresas ensambladoras de módulos fotovoltaicos: ERDM SOLAR, S.A. DE C.V. (Veracruz), SAYA - PULSE ENERGY S DE RL DE CV (Aguascalientes), SMART POWER (Ciudad de México), SOLAREVER TECNOLOGÍA DE AMÉRICA, S.A. DE C.V. (Hidalgo), SOLARSOL - PRODUCCIONES SOLARES DE MÉXICO S.A. DE C.V. (Yucatán), SYDEMEX, S.A. DE C.V. (Colima), SAECSA (Puebla) y Solarvatio, S.A. DE C.V. (Oaxaca).

módulos provienen de países extranjeros (celdas) y el contenido nacional principal que emplean es la mano de obra, la cual no precisa de especialización exhaustiva para su ejecución.

Si bien, la empresa no se dedica específicamente al desarrollo e innovación (I+D), destina entre el 5-10% de la cantidad ingresada a I+D. Gracias a ello, la organización cuenta con solicitudes de patentes, secretos industriales y modelos de utilidad para el desarrollo sus actividades.

Pese a la existencia de esta organización y la capacidad de suministro que tiene en la región, su objetivo no es vender productos, sino servicios de soluciones. Es decir, a la empresa no le interesa vender sus módulos a instaladores locales sino a instituciones interesadas en las instalaciones, por lo que la aceptación de sus productos por parte de los instaladores no le es tan relevante como la aceptación de sus compradores finales, de quienes lo consideran altamente competente.

Desde el punto de vista gubernamental, el gobierno del Estado, a través de la Secretaría de Economía, ha fomentado la creación y fortalecimiento de un Clúster Estatal de energías. De manera inicial, este clúster fue constituido por un conjunto de 20 MIPYMES⁷⁶ con enfoque a las energías solares fotovoltaicas, no obstante, el clúster ha tenido dificultades para el desarrollo de sus actividades y la definición de acciones conjuntas que pueden realizar sus agregados, dado que todas las empresas que lo componen son competencia directa, limitando su capacidad de acción diferenciada. Las empresas que constituyen este ente tienen el poder de tomar de decisiones para el desarrollo de actividades en pro de las energías renovables en el estado, incluida la promoción de la industria solar fotovoltaica, sin embargo, la asociación requiere de un coordinador cuyo poder se encuentre balanceado por un sistema de pesos y contra pesos, y sea capaz de delegar acciones para el desarrollo de la industria dejando a un lado los intereses personales. Es importante mencionar que, adicional al enfoque renovable, el clúster plantea expandir el tipo de tecnologías a impulsar y los sectores a incluir, entre los que se encuentra las fuentes fósiles y la industria minera.

⁷⁶ Solarvatio, Enalto Solar, AstroSol, Maxsolar, CCEEA, Costa Natural Oaxaqueña, Ensumex, Cazando el Sol, Addoma, Solare, Eryvitsa (esta empresa ya no existe), Herluma Soluciones, Iron Tech Energies, Acutica del Pacífico, 5 Caracol, Energetec, APRES, UTVCO, Smart Ray Geosolutions, y Zignaport.

Tabla 24 Organizaciones relacionadas a la Energía Solar en Oaxaca

Nombre de la organización	Tipo de organización	Descripción de la organización	Forma de relacionamiento	Eslabones de la cadena que abarcan
ACCIONA Microenergía México [Istmo]	Asociación Civil	Microempresa social creada para facilitar el acceso a energía, agua, y saneamiento con tecnologías limpias y seguras en zonas de difícil acceso a servicios con métodos convencionales (redes públicas).	Compra y distribuye módulos fotovoltaicos en comunidades de bajos recursos. Capacita a las comunidades de zonas de difícil acceso para ser distribuidores, técnicos y habilitadores de proyectos solares de generación distribuida.	Eslabones: V. Planeación (diseño y financiamiento) Organización de soporte: Capacitación técnica en comunidades de difícil acceso
Universidad Tecnológica del Istmo Campus Tehuantepec (Instituto de Estudios de la Energía - IEE) [Istmo]	Academia / Universidad pública	Institución pública de educación superior e investigación científica.	Investigación relacionada con rendimientos de los módulos fotovoltaicos bajo condiciones climáticas particulares, desarrollo de tecnologías de película delgada.	Eslabones: I. Investigación y desarrollo tecnológico
Astrosol S.A. de C.V. [Valles Centrales de Oaxaca]	Empresa	Empresa instaladora de módulos fotovoltaicos	Dimensionamiento e instalación de módulos fotovoltaicos (pequeña y mediana escala)	Eslabones: V. Planeación (diseño y financiamiento) VI. Ingeniería, construcción e instalación VII. Operación y mantenimiento
Centro de Capacitación	Academia / centro de	Centro pionero de capacitación en el sector eléctrico y energías alternas en	Capacitación técnica para instalaciones eléctricas.	Organización de soporte:

Eléctrica y Energías Alternas / American Rewavables Institute S.A. de C.V. (CCEEA) [Valles Centrales]	capacitación privado	toda la República Mexicana. Su objetivo es potenciar los conocimientos profesionales de calidad en las energías alternas al brindar las herramientas teóricas y prácticas	Centro certificador en estándares CONOCER.	Desarrollo de fuerza de trabajo a nivel técnico Entidad certificadora y verificadora
EB Soluciones Energéticas S.A. de C.V. [Valles Centrales]	Empresa	Empresa instaladora de módulos fotovoltaicos	Dimensionamiento e instalación de módulos fotovoltaicos (pequeña y mediana escala)	Eslabones: V. Planeación (diseño y financiamiento) VI. Ingeniería, construcción e instalación VII. Operación y mantenimiento
ERYVITSA (Energía Renovable y Vías Terrestres S.A. de C.V.) [Valles Centrales]	Empresa	Empresa instaladora de módulos fotovoltaicos	Dimensionamiento e instalación de módulos fotovoltaicos. (Se desconoce el estado de existencia de la empresa)	Eslabones: V. Planeación (diseño y financiamiento) VI. Ingeniería, construcción e instalación VII. Operación y mantenimiento
Energetec (Ingeniería Energética y Sustentable Energetec) [Valles Centrales]	Empresa	Empresa oaxaqueña que brinda soluciones sustentables para para satisfacer necesidades energéticas	Dimensionamiento e instalación de módulos fotovoltaicos (pequeña y mediana escala)	Eslabones: V. Planeación (diseño y financiamiento) VI. Ingeniería, construcción e instalación VII. Operación y mantenimiento
APES (Automatización, Procesos y Energía Sustentable) [Valles Centrales]	Empresa	Empresa consultora que se dedica al desarrollo de proyectos que incentiven el ahorro de energía y promuevan la sustentabilidad. Como parte de sus actividades se encuentra la instalación de módulos fotovoltaicos (actividad secundaria).	Dimensionamiento e instalación de módulos fotovoltaicos (pequeña y mediana escala)	Eslabones: V. Planeación (diseño y financiamiento) VI. Ingeniería, construcción e instalación

IEPSA Ingeniería Eléctrica y Proyectos Sustentables de Antequera [Valles Centrales]	Empresa	Empresa instaladora de módulos fotovoltaicos	Dimensionamiento e instalación de módulos fotovoltaicos (pequeña y mediana escala).	Eslabones: V. Planeación (diseño y financiamiento) VI. Ingeniería, construcción e instalación VII. Operación y mantenimiento
Instelred Construcciones S.A. de C.V. [Valles Centrales]	Empresa	Electrificación en media tensión área y subterránea e instalación de sistemas con módulos solares (bombeo e interconectados a CFE)	Dimensionamiento e instalación de módulos fotovoltaicos (pequeña y mediana escala).	Eslabones: V. Planeación (diseño y financiamiento) VI. Ingeniería, construcción e instalación VII. Operación y mantenimiento
HV Energías Sustentables de México SA DE CV - Ensumex [Valles Centrales]	Empresa	Empresa instaladora de módulos fotovoltaicos	Dimensionamiento e instalación de módulos fotovoltaicos (pequeña y mediana escala).	Eslabones: V. Planeación (diseño y financiamiento) VI. Ingeniería, construcción e instalación VII. Operación y mantenimiento
5 CARACOL [Valles Centrales]	Empresa	Empresa instaladora de módulos fotovoltaicos	Dimensionamiento e instalación de módulos fotovoltaicos (pequeña y mediana escala).	Eslabones: V. Planeación (diseño y financiamiento) VI. Ingeniería, construcción e instalación VII. Operación y mantenimiento
Solarvatio [Valles Centrales]	Empresa	Empresa ensambladora de módulos fotovoltaicos. Como parte de sus actividades, realiza }distribución, instalación y capacitación.	Ensamble, distribución e instalación de módulos fotovoltaicos	Eslabones: III. Manufactura de los componentes IV. Distribución V. Planeación (diseño y financiamiento) VI. Ingeniería, construcción e instalación VII. Operación y mantenimiento Organización de soporte: Desarrollo de fuerza de trabajo a nivel técnico

				Entidad certificadora y verificadora
Cazando el sol / Conect Sol [Valles Centrales]	Empresa	Empresa instaladora de módulos fotovoltaicos	Dimensionamiento e instalación de módulos fotovoltaicos (pequeña y mediana escala).	Eslabones: V. Planeación (diseño y financiamiento) VI. Ingeniería, construcción e instalación VII. Operación y mantenimiento
Enalto Solar OAXACA (Energías Alternativas Limpias de Oaxaca S.A. de C.V.) [Valles Centrales]	Empresa	Empresa instaladora de módulos fotovoltaicos	Dimensionamiento e instalación de módulos fotovoltaicos (pequeña y mediana escala).	Eslabones: V. Planeación (diseño y financiamiento) VI. Ingeniería, construcción e instalación VII. Operación y mantenimiento
INGENIERÍA ELÉCTRICA ALTERNATIVA SUSTENTABLE [Valles Centrales]	Empresa	Empresa instaladora de módulos fotovoltaicos	Dimensionamiento e instalación de módulos fotovoltaicos (pequeña y mediana escala).	Eslabones: V. Planeación (diseño y financiamiento) VI. Ingeniería, construcción e instalación VII. Operación y mantenimiento
Fideicomiso para el ahorro de energía eléctrica (FIDE) Delegación Sureste [Valles Centrales]	Regulador	Institución privada y sin fines de lucro que depende de la Comisión Federal de Electricidad. Promueve el ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica en industrias, comercios y servicios, MIPyMES, municipios, sector residencial y agrícola. Brinda asistencia técnica y apoyos financieros a través de sus programas.	Establece lineamientos para la industria. Determina criterios técnicos y tecnológicos para la instalación de módulos. Brinda financiamiento para el desarrollo de proyectos.	Organización de soporte: Financiamiento y regulación normativa

Max Solar Energía [Valles Centrales]	Empresa	Empresa instaladora de módulos fotovoltaicos	Dimensionamiento e instalación de módulos fotovoltaicos (pequeña y mediana escala).	Eslabones: V. Planeación (diseño y financiamiento) VI. Ingeniería, construcción e instalación VII. Operación y mantenimiento
Asociación Nacional de Energía Solar (ANES) Región Oaxaca	Asociación Civil	Apartado regional de la asociación civil mexicana sin fines de lucro enfocada a la energía solar. Sus objetivos son intercambiar, promocionar y divulgar la utilización de la energía solar en sus manifestaciones de radiación solar y del aprovechamiento de los fenómenos que producen en forma indirecta como la energía del viento, la biomasa, la hidráulica.	Establecimiento y difusión de las mejores prácticas de la industria solar fotovoltaica	Organización de soporte: Difusión y coordinación de las acciones de la industria solar fotovoltaica a nivel nacional
Universidad Tecnológica de los Valles Centrales de Oaxaca [Valles Centrales]	Academia / Universidad pública	Institución educativa y de fomento a la investigación y el desarrollo de tecnología solar y eólica.	Ingeniería y Técnico Superior Universitario en Energías Renovables, cuenta con un laboratorio para que los alumnos practiquen las instalaciones. Promueven que los alumnos generen proyectos varios con módulos fotovoltaicos.	Organización de soporte: Desarrollo de fuerza de trabajo a nivel técnico
Clúster de energías renovables Oaxaca [Valles Centrales]	Regulador	Asociación de instituciones cuyo objetivo es incrementar la competitividad de los sectores	Promueve la política económica de clúster. Pretende la alineación	Organización de soporte: Regulación normativa

		productivos a través de la implementación de una política de clúster, que detone el desarrollo económico y social en las regiones del estado de Oaxaca	de políticas y programas en favor de la competitividad del sector.	
Instituto Tecnológico de Oaxaca [Valles Centrales]	Academia / Universidad pública	Institución educativa y de fomento al desarrollo técnico de sus estudiantes.	La carrera de ingeniería eléctrica cuenta con una materia enfocada a la energía solar fotovoltaica	Organización de soporte: Desarrollo de fuerza de trabajo a nivel técnico
Consejo Oaxaqueño de Ciencia, Tecnología e Innovación - COCITEI [Valles Centrales]	Regulador	Institución gubernamental que aprovecha los recursos públicos y privados para promover el desarrollo de la ciencia y la tecnología e innovación en el estado	Difusión de la tecnología y la innovación. Capacitaciones para promover la protección intelectual.	Organización de soporte: Regulación para la vinculación, difusión y desarrollo tecnológico
Secretaría de Economía de Oaxaca [Valles Centrales]	Regulador	Entidad gubernamental cuyo objetivo es conducir el diseño e implementación de las políticas públicas orientadas a fortalecer el desarrollo económico del estado. A través de la Subsecretaría de Industria e Innovación y la dirección de Desarrollo de Clúster se desarrolla el plan de acción del Clúster de Energías del Estado	Promueve la política económica de clúster. Coordina acciones e instituciones del clúster de Energías	Organización de soporte: Financiamiento y regulación normativa

ENERGÍZATE, SOLAR [Valles Centrales]	Empresa	Empresa instaladora de módulos fotovoltaicos	Dimensionamiento e instalación de módulos fotovoltaicos (pequeña y mediana escala).	Eslabones: V. Planeación (diseño y financiamiento) VI. Ingeniería, construcción e instalación VII. Operación y mantenimiento
SISTEMA DE AHORRO DE ENERGIA OAXACA (Valles de Oaxaca)	Empresa	Empresa instaladora de Sistemas fotovoltaicos, subestaciones eléctricas y bancos de capacitores	Dimensionamiento e instalación de módulos fotovoltaicos (pequeña y mediana escala).	Eslabones: V. Planeación (diseño y financiamiento) VI. Ingeniería, construcción e instalación VII. Operación y mantenimiento
ABAR CONSTRUCCIONES	Empresa	Distribuidor nacional de módulos fotovoltaicos, empresa instaladora de módulos fotovoltaicos	Distribución de insumos eléctricos y módulos fotovoltaicos a nivel nacional. Dimensionamiento e instalación de módulos fotovoltaicos (pequeña y mediana escala).	Eslabones: IV. Distribución V. Planeación (diseño y financiamiento) VI. Ingeniería, construcción e instalación VII. Operación y mantenimiento
Instituto Tecnológico del Valle de Etna	Academia / Universidad pública	Institución educativa y de fomento a la investigación y el desarrollo de tecnología solar y eólica.	Ingeniería en Energías Renovables. La carrera es de reciente creación.	Organización de soporte: Desarrollo de fuerza de trabajo a nivel técnico

Fuente: Elaboración propia

Figura 28 Entorno de la industria solar fotovoltaica en Oaxaca



INSTITUCIONES DE SOPORTE:



Fuente: Elaboración propia

C. Gobernanza de la cadena local y su entorno (instituciones de soporte)

Tabla 25 Gobernanza de la investigación y desarrollo tecnológico en la cadena local de Oaxaca

Eslabón de la cadena / Características gobernanza	Complejidad de las transacciones: Especificidad de las transacciones			Capacidad de codificación: Capacidad de comprender y transmitir información			Competencia del proveedor: Flexibilidad / Grado de subordinación de los proveedores a los compradores			Tipo de Gobernanza
		Sí	Alto		Sí	Alto		No	Bajo	
Investigación y desarrollo tecnológico	¿Los productos/servicios o procesos son complejos?	Sí	Alto	¿El conocimiento que se requiere en las organizaciones para realizar sus actividades presentan pocos cambios con respecto al tiempo?	Sí	Alto	¿Las empresas que realizan esta actividad pueden proveer servicios/productos a otros sectores?	No	Bajo	Cautivo
	¿Existen normas y/o estándares de proceso y/o productos relacionados a sus actividades principales?	No	Alto	¿Es relevante el conocimiento empírico para realizar sus actividades?	No	Alto	¿Las empresas realizan acuerdos de exclusividad con el comprador?	No	Alto	
	¿Se requieren activos intangibles (patentes, marcas, derechos de autor, fondo de comercio, dominios de internet, franquicias, etc.), para poder realizar las transacciones entre las organizaciones?	Sí	Alto	¿El conocimiento tácito es codificable?	Sí	Alto	¿La infraestructura que tienen las organizaciones limitan su entrada y permanencia a este eslabón?	Sí	Bajo	
	¿Se requiere de conocimientos complejos para que las organizaciones realicen sus actividades?	Sí	Alto	¿Existen manuales para la realización de las actividades?	No	Bajo	¿Las capacidades del personal son barrera para adaptarse a nuevos requerimientos y cumplirlos en tiempo y forma?	Sí	Bajo	

	¿Se requiere de activos estructurales específicos para que las organizaciones realicen sus actividades?	Sí	Alto	¿Existen “buenas prácticas” relacionadas a las actividades realizadas? ¿se encuentran codificadas y son conocidas?	No	Bajo	¿Los procesos y programas de mejora continua son relevantes para la permanencia de las organizaciones en el sector?	Sí	Bajo	
	¿Es fácil valorar económicamente las transacciones entre las organizaciones?	No	Alto							
	Valoración final de la complejidad de las transacciones en el eslabón		Alto	Valoración final de la capacidad de codificación en el eslabón		Alto	Valoración final de la competencia del proveedor en el eslabón		Bajo	

INSTITUCIONES RELACIONADAS: UNISTMO – Maestría en energía solar.

El proceso de investigación y desarrollo tecnológico presenta una gobernanza del tipo cautiva. La institución realiza actividades de alta especificidad enfocadas a: 1) la adaptación y mejora de los módulos solares con el objetivo de mejorar su eficiencia para las condiciones específicas de Oaxaca y 2) la investigación y desarrollo de módulos de película delgada.

Pese al conocimiento científico acumulado en los investigadores, la UNISTMO presenta una subordinación hacia el Instituto de Energías Renovables (IER) de la UNAM y otras instituciones, las cuales cuentan con la infraestructura necesaria para realizar pruebas y experimentos.

Fuente: Elaboración propia, caracterización de las cadenas basada en los tipos de gobernanza presentados en Gereffi, Humphrey, & Sturgeon, The governance of global value chains, 2005.

Tabla 26 Gobernanza de la proveeduría de componentes en la cadena local de Oaxaca

Eslabón de la cadena / Características de gobernanza	Complejidad de las transacciones: Especificidad de las transacciones			Capacidad de codificación: Capacidad de comprender y transmitir información			Competencia del proveedor: Flexibilidad / Grado de subordinación de los proveedores a los compradores			Tipo de Gobernanza
Proveedores de componentes	¿Los productos/servicios o procesos son complejos?	Sí	Alto	¿El conocimiento que se requiere en las organizaciones para realizar sus actividades presentan pocos cambios con respecto al tiempo?	No	Bajo	¿Las empresas que realizan esta actividad pueden proveer servicios/productos a otros sectores?	No	Bajo	Jerárquica
	¿Existen normas y/o estándares de proceso y/o productos relacionados a sus actividades principales?	Sí	Bajo	¿Es relevante el conocimiento empírico para realizar sus actividades?	Sí	Bajo	¿Las empresas realizan acuerdos de exclusividad con el comprador?	Sí	Bajo	
	¿Se requieren activos intangibles (patentes, marcas, derechos de autor, fondo de comercio, dominios de internet, franquicias, etc.), para poder realizar las transacciones entre las organizaciones?	Sí	Alto	¿El conocimiento tácito es codificable?	Sí	Alto	¿La infraestructura que tienen las organizaciones limitan su entrada y permanencia a este eslabón?	Sí	Bajo	
	¿Se requiere de conocimientos complejos para que las organizaciones realicen sus actividades?	Sí	Alto	¿Existen manuales para la realización de las actividades?	Sí	Alto	¿Las capacidades del personal son barrera para adaptarse a nuevos requerimientos y cumplirlos en tiempo y forma?	Sí	Bajo	
	¿Se requiere de activos estructurales específicos para	Sí	Alto	¿Existen “buenas prácticas” relacionadas a las actividades	No	Bajo	¿Los procesos y programas de mejora continua son relevantes	Sí	Bajo	

	que las organizaciones realicen sus actividades?			realizadas? ¿se encuentran codificadas y son conocidas?			para la permanencia de las organizaciones en el sector?			
	¿Es fácil valorar económicamente las transacciones entre las organizaciones?	Sí	Bajo							
	Valoración final de la complejidad de las transacciones en el eslabón		Alto	Valoración final de la capacidad de codificación en el eslabón		Bajo	Valoración final de la competencia del proveedor en el eslabón		Bajo	
<p>INSTITUCIONES RELACIONADAS: Ninguna institución.</p> <p>El proceso de proveeduría de componentes no se encuentra dentro del estado, los productos derivados del mismo se obtienen por medio de la importación, principalmente de China, Taiwan, España Reino Unido y Estados Unidos.</p> <p>Dadas las condiciones del Estado, este eslabón es de carácter jerárquico. Es decir, se requeriría que las empresas locales lograran integrarse de forma vertical a lo largo del segmento de generación de insumos para que esta actividad tuviera la posibilidad de realizarse. El ingreso y permanencia de las organizaciones en este eslabón requieren de capacidades humanas y tecnológicas que permitan la producción a escala y la reducción de costos de forma continua, condiciones que requieren de fuertes cantidades de inversión.</p>										

Fuente: Elaboración propia, caracterización de las cadenas basada en los tipos de gobernanza presentados en Gereffi, Humphrey, & Sturgeon, The governance of global value chains, 2005.

Tabla 27 Gobernanza de la manufactura de componentes en la cadena local de Oaxaca

Eslabón de la cadena / Características gobernanza	Complejidad de las transacciones: Especificidad de las transacciones		Capacidad de codificación: Capacidad de comprender y transmitir información		Competencia del proveedor: Flexibilidad / Grado de subordinación de los proveedores a los compradores		Tipo de Gobernanza			
Manufactura de componentes	¿Los productos/servicios o procesos son complejos?	Sí	Alto	¿El conocimiento que se requiere en las organizaciones para realizar sus actividades presentan pocos cambios con respecto al tiempo?	No	Bajo	¿Las empresas que realizan esta actividad pueden proveer servicios/productos a otros sectores?	Sí	Alto	Mercados
	¿Existen normas y/o estándares de proceso y/o productos relacionados a sus actividades principales?	Sí	Bajo	¿Es relevante el conocimiento empírico para realizar sus actividades?	No	Alto	¿Las empresas realizan acuerdos de exclusividad con el comprador?	No	Alto	
	¿Se requieren activos intangibles (patentes, marcas, derechos de autor, fondo de comercio, dominios de internet, franquicias, etc.), para poder realizar las transacciones entre las organizaciones?	No	Bajo	¿El conocimiento tácito es codificable?	Sí	Alto	¿La infraestructura que tienen las organizaciones limitan su entrada y permanencia a este eslabón?	Sí	Bajo	
	¿Se requiere de conocimientos complejos para que las organizaciones realicen sus actividades?	No	Bajo	¿Existen manuales para la realización de las actividades?	Sí	Alto	¿Las capacidades del personal son barrera para adaptarse a nuevos requerimientos y cumplirlos en tiempo y forma?	No	Alto	
	¿Se requiere de activos estructurales específicos	Sí	Alto	¿Existen "buenas prácticas" relacionadas a las actividades	No	Bajo	¿Los procesos y programas de mejora continua son relevantes	Sí	Bajo	

	para que las organizaciones realicen sus actividades?			realizadas? ¿Se encuentran codificadas y son conocidas?			para la permanencia de las organizaciones en el sector?		
	¿Es fácil valorar económicamente las transacciones entre las organizaciones?	Sí	Bajo						
	Valoración final de la complejidad de las transacciones en el eslabón		Bajo	Valoración final de la capacidad de codificación en el eslabón		Alto	Valoración final de la competencia del proveedor en el eslabón		Alto

INSTITUCIONES RELACIONADAS: SOLARVATIO

El proceso de manufactura presenta una gobernanza de mercados, caracterizada por la producción de productos de especificidad baja a media. La organización se enfrenta a grandes retos tecnológicos para permanecer a un mercado cuyos precios tienden a la baja, y donde la tecnología y la innovación tienen un papel relevante para la producción (mejorar del costo-eficiencia de materiales, reducir la cantidad de personal y sus requerimientos técnicos y científicos).

A nivel internacional, los módulos fotovoltaicos deben de cumplir con las siguientes normativas:

- UL 1703 Standard for Safety: Flat-Plate Photovoltaic Modules and Panels. IEC 61730 Photovoltaic (PV) module safety qualification
- ASTM E1036-02 Standard Test Method for Electrical Performance of Non-Concentrator Terrestrial Photovoltaic Modules and Array Using Reference Cells
- FESEC 202-05 Test Method for Photovoltaic Module Power Rating
- IEC 61215 Crystalline Silicon Terrestrial Photovoltaic (PV) Modules – Design Qualification and Type Approval
- IEC 61646 Thin-Film Silicon Terrestrial Photovoltaic (PV) Modules – Design Qualification and Type Approval
- IEC 61853 Photovoltaic Module Performance Testing and Energy Rating)

Sin embargo, ni en el país ni en el estado existen organismos certificadores que garanticen la calidad de los módulos fotovoltaicos. Ante estas condiciones y considerando los criterios de requerimientos de financiamiento, se emplean los módulos con el Sello FIDE, el cual solo garantiza que existan los componentes mínimos requeridos en la norma y que cumple con los parámetros eléctricos.

No obstante, la medición de estos requerimientos normativos presenta dos condiciones críticas (ENERGETEC, APRES, SOLARVATIO, CCEA, & SOL, 2020): 1) solo se aplica a un módulo fotovoltaico de prueba, lo cual no garantiza que todos los lotes tengan la misma calidad ni que todos los módulos del fabricante cuenten con los requerimientos técnicos de seguridad para ser implementados y 2) los requerimientos normativos que cumplen no cumplen con todos los requerimientos para ser considerados de calidad internacional. No obstante, estos productos requieren pruebas de impacto, degradación, temperatura, humedad entre otros para garantizar la seguridad de su instalación y cumplir con los requerimientos de garantía que los instaladores buscan.

Con esta condición los módulos tienen la oportunidad de ingresar a pequeños mercados, principalmente locales cuyos requerimientos técnicos no son estrictos y cuya instalación no garantiza el tiempo de vida del panel ni la seguridad del lugar donde es instalado.

La condición de mercado de este eslabón se genera debido a la gran cantidad de módulos fotovoltaicos existentes a nivel mundial y que se distribuyen a nivel local.

Fuente: Elaboración propia, caracterización de las cadenas basada en los tipos de gobernanza presentados en Gereffi, Humphrey, & Sturgeon, The governance of global value chains, 2005.

Tabla 28 Gobernanza de la distribución en la cadena local de Oaxaca

Eslabón de la cadena / Características gobernanza	Complejidad de las transacciones: Especificidad de las transacciones		Capacidad de codificación: Capacidad de comprender y transmitir información			Competencia del proveedor: Flexibilidad / Grado de subordinación de los proveedores a los compradores			Tipo de Gobernanza	
Distribución	¿Los productos/servicios o procesos son complejos?	No	Bajo	¿El conocimiento que se requiere en las organizaciones para realizar sus actividades presentan pocos cambios con respecto al tiempo?	Sí	Alto	¿Las empresas que realizan esta actividad pueden proveer servicios/productos a otros sectores?	Sí	Alto	Mercados
	¿Existen normas y/o estándares de proceso y/o productos relacionados a sus actividades principales?	Sí	Bajo	¿Es relevante el conocimiento empírico para realizar sus actividades?	No	Alto	¿Las empresas realizan acuerdos de exclusividad con el comprador?	No	Alto	
	¿Se requieren activos intangibles (patentes, marcas, derechos de autor, fondo de comercio, dominios de internet, franquicias, etc.), para poder realizar las transacciones entre las organizaciones?	No	Bajo	¿El conocimiento tácito es codificable?	Sí	Alto	¿La infraestructura que tienen las organizaciones limitan su entrada y permanencia a este eslabón?	No	Alto	
	¿Se requiere de conocimientos complejos para que las organizaciones realicen sus actividades?	No	Bajo	¿Existen manuales para la realización de las actividades?	No	Bajo	¿Las capacidades del personal son barrera para adaptarse a nuevos requerimientos y cumplirlos en tiempo y forma?	No	Alto	
	¿Se requiere de activos estructurales específicos para	No	Bajo	¿Existen "buenas prácticas" relacionadas a las actividades	No	Bajo	¿Los procesos y programas de mejora continua son relevantes	No	Alto	

	que las organizaciones realicen sus actividades?			realizadas? ¿Se encuentran codificadas y son conocidas?			para la permanencia de las organizaciones en el sector?		
	¿Es fácil valorar económicamente las transacciones entre las organizaciones?	Sí	Bajo						
	Valoración final de la complejidad de las transacciones en el eslabón		Bajo	Valoración final de la capacidad de codificación en el eslabón		Alto	Valoración final de la competencia del proveedor en el eslabón		Alto

INSTITUCIONES RELACIONADAS: SOLARVATIO, ABAR CONSTRUCCIONES

El proceso de distribución presenta una gobernanza de mercados, la cual se rige por una gran cantidad de revendedores mayoristas y ensambladoras tanto a nivel nacional como internacional. Los requerimientos técnicos necesarios para realizar la venta de los productos son mínimos y por lo general los distribuidores cuentan con una guía de módulos fotovoltaicos en la que presentan la variedad de productos que ofrecen. Por lo general, a nivel local, las empresas distribuidoras se integran con las actividades de planeación e instalación. Existen casos en los que algunas instituciones como Micro Acciona México, fungen como capacitadoras, planeadoras y distribuidoras en zonas de difícil acceso. No obstante, estas instituciones tienen acuerdos específicos con empresas manufactureras que les distribuyen los insumos.

Fuente: Elaboración propia, caracterización de las cadenas basada en los tipos de gobernanza presentados en Gereffi, Humphrey, & Sturgeon, The governance of global value chains, 2005.

Tabla 29 Gobernanza de la planeación (diseño y financiamiento) en la cadena local de Oaxaca

Eslabón de la cadena / Características gobernanza	Complejidad de las transacciones:		Capacidad de codificación:			Competencia del proveedor:			Tipo de Gobernanza	
	Especificidad de las transacciones		Capacidad de comprender y transmitir información			Flexibilidad / Grado de subordinación de los proveedores a los compradores				
Planeación (diseño y financiamiento)	¿Los productos/servicios o procesos son complejos?	No	Bajo	¿El conocimiento que se requiere en las organizaciones para realizar sus actividades presentan pocos cambios con respecto al tiempo?	Sí	Alto	¿Las empresas que realizan esta actividad pueden proveer servicios/productos a otros sectores?	Sí	Alto	Mercados
	¿Existen normas y/o estándares de proceso y/o productos relacionados a sus actividades principales?	Sí	Bajo	¿Es relevante el conocimiento empírico para realizar sus actividades?	Sí	Bajo	¿Las empresas realizan acuerdos de exclusividad con el comprador?	No	Alto	
	¿Se requieren activos intangibles (patentes, marcas, derechos de autor, fondo de comercio, dominios de internet, franquicias, etc.), para poder realizar las transacciones entre las organizaciones?	No	Bajo	¿El conocimiento tácito es codificable?	Sí	Alto	¿La infraestructura que tienen las organizaciones limitan su entrada y permanencia a este eslabón?	No	Alto	
	¿Se requiere de conocimientos complejos para que las organizaciones realicen sus actividades?	Sí	Alto	¿Existen manuales para la realización de las actividades?	Sí	Alto	¿Las capacidades del personal son barrera para adaptarse a nuevos requerimientos y cumplirlos en tiempo y forma?	Sí	Bajo	
	¿Se requiere de activos estructurales específicos para	No	Bajo	¿Existen "buenas prácticas" relacionadas a las actividades	Sí	Alto	¿Los procesos y programas de mejora continua son relevantes	No	Alto	

	que las organizaciones realicen sus actividades?			realizadas? ¿Se encuentran codificadas y son conocidas?			para la permanencia de las organizaciones en el sector?		
	¿Es fácil valorar económicamente las transacciones entre las organizaciones?	Sí	Bajo						
	Valoración final de la complejidad de las transacciones en el eslabón		Bajo	Valoración final de la capacidad de codificación en el eslabón		Alto	Valoración final de la competencia del proveedor en el eslabón		Alto

INSTITUCIONES RELACIONADAS: Acciona Microenergía México, Solarvatio, Astrosol, Eb Soluciones Energéticas, Energetec, APES, IEPSA, Instelred Construcciones, Ensumex, 5 Caracol, Solarvatio, Cazando El Sol / Conect Sol, Enalto Solar Oaxaca, Ingeniería Eléctrica Alternativa Sustentable, Max Solar Energía, Energízate Solar, Sistema De Ahorro De Energía Oaxaca, Abar Construcciones.

El eslabón de planeación (diseño y financiamiento) se encuentra verticalmente integrado con los de ingeniería y operación, y realizan en su mayoría, la instalación de proyectos de pequeña y mediana escala. De toda la cadena local, esta integración de eslabones es la que contiene a la mayor cantidad de participantes de Oaxaca. Esto se debe a que las universidades y centros de capacitación regionales (instituciones de soporte) han preparado a una cantidad considerable de personal con las capacidades técnicas para planificar y desarrollar proyectos, disminuyendo la necesidad los requerimientos de capacitaciones extra, y con ello los requerimientos de entrada y permanencia en el eslabón (ENERGETEC, APRES, SOLARVATIO, CCEA, & SOL, 2020).

La contratación de servicios, dependen del financiamiento de los equipos e instalación, por lo que las instituciones financieras regulan de manera indirecta este y los siguientes dos eslabones al ser ellas quien establecen los requisitos mínimos para realizar los préstamos.

Un elemento crítico para permanecer en este eslabón de carácter local es el conocimiento de los procesos para la procuración de fondos, pues la mayoría de los consumidores solicitan algún tipo de financiamiento.

Fuente: Elaboración propia, caracterización de las cadenas basada en los tipos de gobernanza presentados en Gereffi, Humphrey, & Sturgeon, *The governance of global value chains*, 2005.

Tabla 30 Gobernanza de la ingeniería, construcción e instalación en la cadena local de Oaxaca

Eslabón de la cadena / Características gobernanza	Complejidad de las transacciones: Especificidad de las transacciones		Capacidad de codificación: Capacidad de comprender y transmitir información			Competencia del proveedor: Flexibilidad / Grado de subordinación de los proveedores a los compradores			Tipo de Gobernanza	
	No	Bajo	No	Bajo	Sí	Alto	No	Alto		
Ingeniería, construcción e instalación	¿Los productos/servicios o procesos son complejos?	No	Bajo	¿El conocimiento que se requiere en las organizaciones para realizar sus actividades presentan pocos cambios con respecto al tiempo?	No	Bajo	¿Las empresas que realizan esta actividad pueden proveer servicios/productos a otros sectores?	Sí	Alto	Mercados
	¿Existen normas y/o estándares de proceso y/o productos relacionados a sus actividades principales?	Sí	Bajo	¿Es relevante el conocimiento empírico para realizar sus actividades?	No	Alto	¿Las empresas realizan acuerdos de exclusividad con el comprador?	No	Alto	
	¿Se requieren activos intangibles (patentes, marcas, derechos de autor, fondo de comercio, dominios de internet, franquicias, etc.), para poder realizar las transacciones entre las organizaciones?	No	Bajo	¿El conocimiento tácito es codificable?	Sí	Alto	¿La infraestructura que tienen las organizaciones limitan su entrada y permanencia a este eslabón?	No	Alto	
	¿Se requiere de conocimientos complejos para que las organizaciones realicen sus actividades?	Sí	Alto	¿Existen manuales para la realización de las actividades?	Sí	Alto	¿Las capacidades del personal son barrera para adaptarse a nuevos requerimientos y cumplirlos en tiempo y forma?	No	Alto	

	¿Se requiere de activos estructurales específicos para que las organizaciones realicen sus actividades?	No	Bajo	¿Existen "buenas prácticas" relacionadas a las actividades realizadas? ¿Se encuentran codificadas y son conocidas?	Sí	Alto	¿Los procesos y programas de mejora continua son relevantes para la permanencia de las organizaciones en el sector?	No	Alto	
	¿Es fácil valorar económicamente las transacciones entre las organizaciones?	Sí	Bajo							
	Valoración final de la complejidad de las transacciones en el eslabón		Bajo	Valoración final de la capacidad de codificación en el eslabón		Alto	Valoración final de la competencia del proveedor en el eslabón			Alto

INSTITUCIONES RELACIONADAS: Solarvatio, Astrosol, Eb Soluciones Energéticas, Energetec, APES, IEPSA, Instelred Construcciones, Ensumex, 5 Caracol, Solarvatio, Cazando El Sol / Conect Sol, Enalto Solar Oaxaca, Ingeniería Eléctrica Alternativa Sustentable, Max Solar Energía, Energízate Solar, Sistema De Ahorro De Energía Oaxaca, Abar Construcciones

El proceso de ingeniería se encuentra integrado verticalmente con los eslabones de planeación y operación. No obstante, en esta fase de la cadena, las empresas subcontratan servicios para la instalación de los proyectos con el objetivo de reducir sus costos. Por lo general, se capacita una persona con los requerimientos técnicos, son pocas las organizaciones que tienen una plantilla de trabajadores que se dedican a la instalación (ENERGETEC, APRES, SOLARVATIO, CCEA, & SOL, 2020).

La subcontratación de mano de obra para la instalación puede darse de forma relacional, principalmente entre aquellas organizaciones cuyos lazos de confianza y reputación han sido construidas a lo largo de años. Los criterios para la permanencia en este eslabón son la reducción de costos, la capacidad de gestionar recursos para la implementación de proyectos y la implementación de trabajos en conjunto con otras organizaciones.

Fuente: Elaboración propia, caracterización de las cadenas basada en los tipos de gobernanza presentados en Gereffi, Humphrey, & Sturgeon, The governance of global value chains, 2005.

Tabla 31 Gobernanza de la operación y mantenimiento en la cadena local de Oaxaca

Eslabón de la cadena / Características gobernanza	Complejidad de las transacciones: Especificidad de las transacciones		Capacidad de codificación: Capacidad de comprender y transmitir información			Competencia del proveedor: Flexibilidad / Grado de subordinación de los proveedores a los compradores			Tipo de Gobernanza	
	No	Bajo	No	Bajo	Sí	Alto	No	Alto		
Operación y mantenimiento	¿Los productos/servicios o procesos son complejos?	No	Bajo	¿El conocimiento que se requiere en las organizaciones para realizar sus actividades presentan pocos cambios con respecto al tiempo?	No	Bajo	¿Las empresas que realizan esta actividad pueden proveer servicios/productos a otros sectores?	Sí	Alto	Mercados
	¿Existen normas y/o estándares de proceso y/o productos relacionados a sus actividades principales?	No	Alto	¿Es relevante el conocimiento empírico para realizar sus actividades?	No	Alto	¿Las empresas realizan acuerdos de exclusividad con el comprador?	No	Alto	
	¿Se requieren activos intangibles (patentes, marcas, derechos de autor, fondo de comercio, dominios de internet, franquicias, etc.), para poder realizar las transacciones entre las organizaciones?	No	Bajo	¿El conocimiento tácito es codificable?	Sí	Alto	¿La infraestructura que tienen las organizaciones limitan su entrada y permanencia a este eslabón?	No	Alto	
	¿Se requiere de conocimientos complejos para que las organizaciones realicen sus actividades?	Sí	Alto	¿Existen manuales para la realización de las actividades?	Sí	Alto	¿Las capacidades del personal son barrera para adaptarse a nuevos requerimientos y cumplirlos en tiempo y forma?	No	Alto	
	¿Se requiere de activos estructurales específicos para	No	Bajo	¿Existen "buenas prácticas" relacionadas a las actividades	Sí	Alto	¿Los procesos y programas de mejora continua son relevantes	No	Alto	

	que las organizaciones realicen sus actividades?			realizadas? ¿Se encuentran codificadas y son conocidas?			para la permanencia de las organizaciones en el sector?			
	¿Es fácil valorar económicamente las transacciones entre las organizaciones?	Sí	Bajo							
	Valoración final de la complejidad de las transacciones en el eslabón		Bajo	Valoración final de la capacidad de codificación en el eslabón		Alto	Valoración final de la competencia del proveedor en el eslabón		Alto	
<p>INSTITUCIONES RELACIONADAS: Solarvatio, Astrosol, Eb Soluciones Energéticas, Energetec, APES, IEPSA, Instelred Construcciones, Ensumex, 5 Caracol, Solarvatio, Cazando El Sol / Conect Sol, Enalto Solar Oaxaca, Ingeniería Eléctrica Alternativa Sustentable, Max Solar Energía, Energízate Solar, Sistema De Ahorro De Energía Oaxaca, Abar Construcciones</p> <p>La fase de operaciones y mantenimiento presenta una gobernanza del tipo de mercado, caracterizada por la prestación de servicios de especificidad baja. Al igual que en la cadena global, los mantenimientos son realizados por técnicos cuya área de conocimiento se encuentre relacionada con instalaciones eléctricas. Este proceso presenta un segundo tipo de gobernanza el cual puede ser del tipo: 1) relacional, puesto que casi siempre el planificador del eslabón previo subcontrata a empresas instaladoras o 2) jerárquico, pues la empresa se encuentra integrada a lo largo de la sección e instalación de la cadena.</p>										

Fuente: Elaboración propia, caracterización de las cadenas basada en los tipos de gobernanza presentados en Gereffi, Humphrey, & Sturgeon, The governance of global value chains, 2005.

Tabla 32 Gobernanza del desmantelamiento en la cadena local de Oaxaca

Eslabón de la cadena / Características gobernanza	Complejidad de las transacciones: Especificidad de las transacciones			Capacidad de codificación: Capacidad de comprender y transmitir información			Competencia del proveedor: Flexibilidad / Grado de subordinación de los proveedores a los compradores			Tipo de Gobernanza
Desmantelamiento	¿Los productos/servicios o procesos son complejos?	Sí	Alto	¿El conocimiento que se requiere en las organizaciones para realizar sus actividades presentan pocos cambios con respecto al tiempo?	Sí	Alto	¿Las empresas que realizan esta actividad pueden proveer servicios/productos a otros sectores?	Sí	Alto	Modular
	¿Existen normas y/o estándares de proceso y/o productos relacionados a sus actividades principales?	Sí	Bajo	¿Es relevante el conocimiento empírico para realizar sus actividades?	No	Alto	¿Las empresas realizan acuerdos de exclusividad con el comprador?	No	Alto	
	¿Se requieren activos intangibles (patentes, marcas, derechos de autor, fondo de comercio, dominios de internet, franquicias, etc.), para poder realizar las transacciones entre las organizaciones?	No	Bajo	¿El conocimiento tácito es codificable?	Sí	Alto	¿La infraestructura que tienen las organizaciones limitan su entrada y permanencia a este eslabón?	Sí	Bajo	
	¿Se requiere de conocimientos complejos para que las organizaciones realicen sus actividades?	Sí	Alto	¿Existen manuales para la realización de las actividades?	Sí	Alto	¿Las capacidades del personal son barrera para adaptarse a nuevos requerimientos y cumplirlos en tiempo y forma?	No	Alto	
	¿Se requiere de activos estructurales específicos para	Sí	Alto	¿Existen "buenas prácticas" relacionadas a las actividades	Sí	Alto	¿Los procesos y programas de mejora continua son relevantes	No	Alto	

	que las organizaciones realicen sus actividades?			realizadas? ¿Se encuentran codificadas y son conocidas?			para la permanencia de las organizaciones en el sector?		
	¿Es fácil valorar económicamente las transacciones entre las organizaciones?	Sí	Bajo						
	Valoración final de la complejidad de las transacciones en el eslabón		Bajo	Valoración final de la capacidad de codificación en el eslabón		Alto	Valoración final de la competencia del proveedor en el eslabón		Alto

INSTITUCIONES RELACIONADAS: SEMARNAT y Solarvatio

El proceso de desmantelamiento no se ha desarrollado en la zona. No obstante, se identifica una gobernanza del tipo modular, puesto que los módulos se tratan de un residuo de manejo especial y para poder procesarlo se requiere tramitar permisos ante SEMARNAT, quien solicita el cumplimiento de especificidades técnicas para el transporte y manejo de residuos. Las empresas con mayores posibilidades de desarrollarse en esta industria son las empresas tratadoras y recolectoras de residuos, que ya cuentan con la infraestructura y permisos para realizar estas actividades.

Los materiales que podrían ser rescatados son: silicio, metales de cables y metales preciosos como la plata, con lo que se hacen las aleaciones. Todos los participantes de la cadena que perciben al reciclaje como un proceso relevante, consideran la necesidad de enviar a otros países los residuos, por lo que pese a la caracterización modular de este eslabón, este eslabón podría considerarse una gobernanza cautiva de aquellas instituciones que recolecten y traten los residuos.

Solarvatio ha procurado colocar en el mercado internacional los residuos y las mermas de su producción como proceso de reciclaje.

Fuente: Elaboración propia, caracterización de las cadenas basada en los tipos de gobernanza presentados en Gereffi, Humphrey, & Sturgeon, The governance of global value chains, 2005.

La cadena local, a diferencia de la global, presenta limitaciones en términos de infraestructura e insumos.

En el primer eslabón, investigación y desarrollo tecnológico, encontramos una gobernanza del tipo cautiva limitada por el acceso a infraestructura y financiamiento para el desarrollo de capacidades de investigación. La institución académica tiene una dependencia grande hacia el IER y hacia la capacidad de pago de los alumnos que realizan sus investigaciones de forma voluntaria. Adicionalmente a estos retos, la institución enfrenta retos relacionados con su capacidad relacional a nivel regional. Si bien, la institución cuenta con acuerdos de vinculación con instituciones con capacidades técnicas e infraestructura para la investigación, la empresa cuenta con limitados acuerdos a nivel regional. Su acuerdo principal es con la empresa Solarvatio, quien ha permitido que sus alumnos conozcan el procedimiento de ensamblaje y la composición de un módulo. No obstante, las condiciones geográficas de estado restringen la posibilidad de hacer valido los beneficios de la vinculación.

Una posibilidad interesante para el desarrollo de este eslabón podría ser la vinculación con empresas fotovoltaicas de la región, quienes, como en el caso de la empresa Cazando el Sol/Connect Sol, podrían donar paneles rotos o con defectos para que los alumnos los procesen y puedan desarrollar actividades extras.

El eslabón de proveedores de componentes no cuenta con proveedores nacionales. De acuerdo con la empresa ensambladora, los países proveedores de los recursos son China, Taiwan, Estados Unidos, España y Reino Unido.

Si bien, existen empresas ensambladoras de módulos, no existe una producción de celdas para el mercado nacional. En la zona norte del país, la empresa SunPower produce celdas fotovoltaicas, sin embargo, estas celdas son fabricadas específicamente para el mercado estadounidense sin tener la oportunidad de quedarse en el país. Para este eslabón, la búsqueda de precios bajos hace que los recursos se exporten y no se consuman de forma local. De acuerdo con las entrevistas, el costo de la mano de obra en México es más caro que el de China, por lo que es más conveniente traer los módulos chinos y ensamblarlos que producirlos en el país y ensamblarlos.

El análisis presenta la prevalencia de la gobernanza de tipo de mercados, al presentar cuatro de los ocho con dicho tipo de gobernanza. Esta condición se debe a:

- 1) La presencia de personal con habilidades prácticas en la región, pero con bajos niveles de capacitación técnica y de planeación.

- 2) La ausencia de una normativa que regule las condiciones mínimas para la instalación de módulos.
- 3) La capacidad de empresas con giros similares a ofrecer los servicios de instalación.
- 4) La necesidad de reducir costos y precios.

Como es posible observar, los eslabones donde predomina la condición de mercado son los eslabones donde se ubican la mayor parte de las empresas de la región. Si bien, el eslabón de manufactura podría caracterizarse como un eslabón de índole modular, el hecho de que la empresa manufacturera de más prioridad a los servicios que al desarrollo y cumplimiento de las normativas y requerimientos técnicos hace que su gobernanza se vea estrechamente ligada a la gobernanza de la distribución e instalación de proyectos. En caso de que la empresa se dedicara específicamente a la manufactura y distribución de sus módulos, las condiciones del mercado no le permitirían la subsistencia, debido a que los paneles que distribuye cuentan con el Sello FIDE, pero no cuentan con pruebas de impacto, degradación, temperatura, humedad, puntos calientes, entre otras pruebas, por lo cual, casi de forma automática, se descarta su capacidad de inserción en el eslabón de manufactura en la cadena nacional o en la cadena global.

Una característica importante de los eslabones de Planeación (diseño y financiamiento), Ingeniería, construcción e instalación, y Operación y mantenimiento es la existencia de una gobernanza del tipo relacional adicional a la gobernanza de mercado. Si bien la oferta está delimitada por la existencia de empresas formales y no formales, es común que las empresas compartan personal o subcontraten a otras cuyas capacidades técnicas y capital relacional sea relevante entre las dos empresas, estas relaciones se gestionan a través de lazos de confianza y reputación de las instituciones. Las condiciones del capital relacional han permitido generar grupos de empresas que colaboran entre sí y ha dividido la oferta de servicios entre aquellas que colaboran y realizan proyecto en conjunto y aquellas que realizan sus actividades de forma individual.

En cuanto al eslabón de desmantelamiento, se desconoce la existencia de un programa específico que permitiera generar reciclaje o reutilización de los paneles con fallas. De todas las empresas entrevistadas, solo dos reconocieron la relevancia del reciclaje y la reutilización de los paneles, y solo una de ellas realiza acciones para el reciclaje. En ambos casos, se considera que el reciclaje debe de ser realizado fuera del país dejando de lado la posibilidad de que Oaxaca pudiese incursionar en este eslabón.

Las organizaciones de soporte

Dentro de las organizaciones de soporte, se identifican a Secretaría de Economía, el Clúster de Energías, la ANES capítulo Oaxaca, la UTVCO, Solarvatio, el ITO, el CCEEA, el FIDE y el COCYTE.

En términos de desarrollo de capacidades, la UTVCO, Solarvatio, el ITO y el CCEEA forman capital humano cada vez más especializado para las actividades de instalación en la región. No obstante, hace falta más práctica y la obligatoriedad del seguimiento de normas para la instalación. La existencia de estas instituciones ha creado una capacidad de instalación práctica en el estado, que, si bien requiere de actualizaciones y de mejoras técnicas, representan a la fuerza laboral que permite la explotación del recurso y el desarrollo de la industria.

En cuanto a las asociaciones, existen dos asociaciones relevantes para el desarrollo de la industria: el Clúster de Energías y la ANE capítulo Oaxaca. No obstante, estas instituciones presentan un alto nivel de conflicto de intereses y un desequilibrio en las relaciones de poder. Durante el presente periodo, la institución Solarvatio coordina ambas asociaciones, a la vez que compete en todos y cada uno de los eslabones de la cadena de valor en la que las organizaciones, tanto de investigación, instalación, mantenimiento, operación y soporte pueden ejercer.

La falta de coordinación entre los integrantes de las asociaciones, así como la existencia de barreras culturales adversas a la cooperación, han hecho que la colaboración y la búsqueda de posibles esquemas de negocio dentro de estas asociaciones puedan ser desarrollados. Si bien, la constitución de ambas organizaciones permite el balance de pesos y contrapesos, la desorganización y segregación causado por aspectos relacionales han hecho que estas instituciones no funcionen y, por el contrario, han generado limitantes para la expansión de la energía solar fotovoltaica.

D. Análisis FODA y *Up-grading* de la cadena

Con el objetivo de ilustrar las condiciones actuales del estado, en la

Figura 29, se presenta un análisis FODA en el que se condensa la información previamente descrita.

Figura 29 FODA del Estado de Oaxaca

FORTALEZAS	DEBILIDADES
Grandes potencialidades para la generación de energía solar y eólica.	Pobreza creciente Bajos niveles de escolaridad, innovación y competitividad

<p>Existe una estructura empresarial relacionada con el sector energético (existe un clúster de energías).</p> <p>Existencia de empresas con los conocimientos técnicos y normativos relacionados con instalación</p> <p>Existencia de una de las pocas empresas manufactureras de módulos fotovoltaicos del país</p>	<p>Fraccionamiento social y poca gobernanza dentro del territorio debido a disputas sociales</p> <p>Disputas sociales relacionados con los proyectos energéticos</p> <p>Estado que ofrece menor facilidad para realizar negocios</p> <p>Desintegración dentro del clúster de energías causada por conflicto de intereses</p> <p>Gran cantidad de oferentes de proyectos solares que no cuentan con las capacidades técnicas necesarias para instalar que generan riesgos a la seguridad de las instalaciones y disminuyen la confiabilidad del sector</p> <p>Desalineación de los intereses de las instituciones respecto a su papel dentro de la cadena de valor (las empresas buscan el acaparamiento de diversos eslabones sin desarrollar alguno con los criterios esenciales para su subsistencia en ellos).</p>
<p style="text-align: center;">OPORTUNIDADES</p> <p>Plan Nacional de Desarrollo contempla electrificación en zonas de difícil acceso</p> <p>Gobierno del Estado tiene el interés de fomentar el desarrollo de modelos de negocios que fomenten el uso de energías renovables</p> <p>Transición energética mundial impulsa el desarrollo del sector, pese a las limitantes nacionales</p>	<p style="text-align: center;">AMENAZAS</p> <p>Pérdidas de población educada por emigración a otras localidades</p> <p>Deshabilitación de los esquemas de financiamiento de proyectos energéticos del FIDE</p> <p>Limitada infraestructura para desarrollar capacidades técnicas y prácticas de los recursos humanos.</p> <p>Dependencia de las instituciones a agentes externos, tanto en términos de insumos, como de investigación</p>

Los retos relacionados con el desarrollo de la industria son diferenciados con respecto a cada uno de los eslabones de la cadena de valor. Esta condición se debe a la diversa composición de cada uno de los procesos realizados y la variedad de instituciones relacionadas.

Para el análisis de upgrading, las estrategias planteadas contemplan una visión de circularidad, es decir disminuir los esfuerzos realizados entre total por todos los integrantes del sector y distribuye actividades de forma tal que permita impulsar las condiciones actuales la industria mejoren y se

acerquen a los requerimientos mínimos del sector mundial y nacional, a la vez que reducen sus impactos sociales, ambientales.

En la *Tabla 33* se presentan las estrategias identificadas. Cabe mencionar, que estas solo pueden ser empleadas en caso de que las instituciones puedan coordinar acciones en conjunto, no obstante, es importante resaltar la dificultad de esta condición dadas las características sociales de desintegración en el Estado.

Las instituciones más relevantes para el impulso de estas estrategias son:

- 1) Cluster de energías. Organización que puede desarrollar estrategias y pautas para normal el desarrollo de la industria en el Estado. No obstante, los conflictos de interés internos limitan el campo de acción de sus integrantes y de la organización en sí misma. Las recomendaciones principales para este actor son A) el establecimiento de un modelo de negocios funcional que permita que los agentes puedan relacionarse entre sí y no compitan por el mismo mercado, y B) la aplicación de un esquema de balance de poderes dentro de la organización, la cual permita a las instituciones del sector participar y opinar sin tener repercusiones comerciales, así como proponer nuevas políticas públicas y esquemas para el desarrollo empresarial en el Estado.
- 2) Gobierno del Estado. Organización que tiene la capacidad de impulsar políticas y facilitar el desarrollo empresarial del clúster. No obstante, sus capacidades financieras limitan las acciones que realizan, forzándolo a impulsar acciones que, podrían desincentivar al sector de energías renovables, como es el caso de la integración de la energía fósil y minería dentro del clúster de energías del Estado. Las recomendaciones principales para este actor son: A) Fomentar la integración del clúster de energías, no obstante, integrar políticas que permitan la distribución del poder del sector, es decir, reducir la cantidad de posiciones de poder que puede tomar una organización dentro del clúster y asociaciones existentes, B) promover una política industrial basada en reciclaje, es decir una política que obligue a las instituciones a reducir sus desechos electrónicos y, a la vez, promueva el uso de los mismos dentro de las instituciones académicas. Si bien, hasta el momento no se presenta una cantidad exuberante de paneles desechados, el reciclaje y reutilización de los mismos permitirían a las instituciones como la UNISTMO, el ITO y la UTVCO tener el material que hasta el momento requieren para mejorar las capacidades de sus alumnos y C) Incentivar al clúster a generar propuestas de política para el desarrollo de estándares de instalación y verificación de las instalaciones y normando, con esto, las instalaciones y el mercado local.

E. *Up-grading* del estado: una visión económica, social y ambiental

Tabla 33 Estrategias por eslabón de la cadena de valor local

Eslabón de la cadena	Requerimientos técnicos / ambientales / sociales internacionales	Condiciones técnicas / ambientales/ sociales nacionales	Condiciones técnicas / ambientales/ sociales locales	Brechas [tecnológicas / técnicas / conocimientos / infraestructura / empresariales]	Barreras identificadas	Estrategias técnicas / ambientales / sociales
Investigación y desarrollo tecnológico	Personal con capacidades técnicas, infraestructura adecuada, financiamiento. Condiciones relacionales para el desarrollo de proyectos	Personal con capacidades técnicas, infraestructura limitada para el desarrollo de investigación. Condiciones relacionales para el desarrollo de proyectos. Financiamiento limitado para la investigación en	Maestría en energía solar. UNISTMO. Maestría no se encuentra en Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) Condiciones cautivas relacionadas a infraestructura, conocimiento y financiamiento. Salidas laborales:	Personal con capacidades técnicas y prácticas. Generaciones de máximo 6 personas, donde el desarrollo de la investigación se limita, principalmente a aspectos teóricos. Infraestructura limitada. Los recursos tecnológicos de la institución limitan la realización de pruebas constantes	Tecnológicas: Instrumentación cara y limitada a nivel país (solo algunas instituciones pueden costearlo). Sociales: Escasez de puestos que favorezcan la inserción laboral de los investigadores formados. Técnicas:	UNISTMO: * Recolección de paneles de desecho para obtención de material de trabajo para sus alumnos. (Reducción de residuos e incremento de insumos de trabajo) * Dar seguimiento a los alumnos que no se han titulado y buscar la participación del posgrado en el PNCP

		energías renovables	Migración de personas capacitadas a otros estados de la República, instalación de paneles fotovoltaicos en la región. Convenios limitados a centros de investigación fuera del Estado y visitas a Solarvatio	de los proyectos relacionados. Falta de instrumentos y equipo limita la capacidad de experimentación y reconocimiento de los componentes necesarios para proponer nuevas tecnologías. Financiamiento escaso. La investigación es fondeada a través de los recursos propios de los estudiantes de posgrado. Existen altas t	Incremento de personas tituladas para ingresar al PNPC.	* Establecer convenios de colaboración con empresas de la región para 1) fomentar la instalación de programas con garantía técnica, 2) investigar afectaciones y funcionalidades bajo condiciones climáticas específicas
Proveedores de componentes	Cantidad y calidad de los insumos de silicio Seguridad de la	Sun Power es la única empresa que produce celdas en México. Sin	No se cuenta con infraestructura mínima necesaria para realizar la	Infraestructura: Se requiere de inversión en la maquinaria y capacitación para el	Tecnológicas: Instrumentación cara y limitada a nivel país (solo algunas	N/A

	<p>planta productora Infraestructura mínima necesaria para realizar los procesos de purificación Know-how Costo bajo de mano de obra</p>	<p>embargo, todas las piezas se exportan a Estados Unidos. Costos de producción altos con respecto a la media internacional. No se cuenta con infraestructura mínima necesaria para realizar la purificación Cantidad y calidad de silicio adecuado para la producción Falta de conocimiento tácito para el dopaje de las</p>	<p>purificación Cantidad y calidad de silicio adecuado para la producción Falta de conocimiento tácito para el dopaje de las celdas Costo de mano de obra medio Falta de mano de obra capacitada para el desarrollo de actividades</p>	<p>desarrollo de las actividades Conocimientos: Se requiere de personal capacitado para el desarrollo de las actividades de dopaje</p>	<p>instituciones podrían costearlo). Empresarial: Estructura empresarial limitativa. Sector privado enfocada en los menores gastos y evasión de inversiones.</p>
--	--	---	--	---	--

		celdas				
		Costo de mano de obra medio				
Manufactura de componentes	<p>Alto nivel de conocimiento</p> <p>Economías de escala e integración vertical</p> <p>Fabricación automatizada</p> <p>Disminución de precios</p> <p>Cumplimiento de los estándares internacionales</p> <p>Costo bajo de mano de obra</p>	<p>Fabricación no sistematizada de los módulos</p> <p>Cumplimiento de requerimientos técnicos de FIDE</p> <p>No cumplimiento de normas internacionales</p> <p>Fabricación principalmente para autoconsumo de la empresa</p>	<p>Fabricación no sistematizada de los módulos</p> <p>Cumplimiento de requerimientos técnicos de FIDE</p> <p>No cumplimiento de normas internacionales</p> <p>Fabricación principalmente para autoconsumo de la empresa</p>	<p>Técnicas:</p> <p>Cumplimiento de los requerimientos de las normativas internacionales</p> <p>Tecnológicas: Se requiere de infraestructura sistematizada para la creación de economías de escala</p> <p>Financieras:</p> <p>Actualización constante de la tecnología requiere de inversión, la cual, dadas las condiciones de subsistencia de la empresa, no puede generar.</p>	<p>Empresariales: Interés de la organización no se relaciona con la manufactura, sino con la instalación</p> <p>Ambientales: Residuos de manejo especial que procuran se tratadas</p>	<p>Solarvatio:</p> <p>* Cumplimiento de requerimientos técnicos de ensamblaje.</p> <p>* Capacitación del personal para garantizar calidad de los productos.</p> <p>* Donación de residuos que puedan ser empleados para aspectos académicos</p> <p>Clúster de energías:</p> <p>* Fomentar el consumo local de los módulos a través de descuentos. No obstante, para</p>

						lograrlo, es necesario que los módulos cumplan con los requerimientos de calidad
Distribución	Integración vertical hacia los eslabones anteriores. Diferentes calidades de paneles fotovoltaicos	Integración vertical hacia los eslabones anteriores. Diferentes calidades de paneles fotovoltaicos	Calidades de los módulos no cumplen estándares internacionales. Productos de autoconsumo	<p>Técnicas: Cumplimiento de los requerimientos de las normativas internacionales</p> <p>Tecnológicas: Se requiere de infraestructura sistematizada para la creación de economías de escala</p> <p>Financieras: Actualización constante de la tecnología requiere de inversión, la cual, dadas las condiciones de subsistencia de la</p>	<p>Empresariales: Interés de la organización no se relaciona con la manufactura, sino con la instalación.</p> <p>Conflictos empresariales generados por conflicto de interés con la organización</p>	<p>Solarvatio: * Cumplimiento de requerimientos técnicos de ensamblaje.</p> <p>Clúster de energías: * Fomentar el consumo local de los módulos a través de descuentos. No obstante, para lograrlo, es necesario que los módulos cumplan con los requerimientos de calidad</p> <p>* Establecer controles de pesos y</p>

				empresa, no puede generar.		contrapesos dentro del clúster, de forma tal que las decisiones empresariales del clúster no causen conflicto de interés
Planeación (diseño y financiamiento)	Incentivos económicos para la instalación de proyectos Políticas públicas a favor de la transición Articulación de fuentes de financiamiento para el desarrollo de proyectos	Deducción del 100% de las instalaciones fotovoltaicas Políticas públicas a nacionales en contra de la transición energética, pero a favor de la generación distribuida Desarticulación de fuentes de financiamiento para el desarrollo de proyectos	Deducción del 100% de las instalaciones fotovoltaicas Proyectos enfocados a la interconexión Desarticulación de fuentes de financiamiento para el desarrollo de proyectos Conflictos de interés interempresariales limitan la diversificación de	Financieras: Recursos financieros para el desarrollo de proyectos son limitados y en el último sexenio se han visto altamente afectadas Empresariales: Estandarización y monitoreo de instalaciones entre los pertenecientes al clúster	Políticas públicas: Desalineación de las políticas e incentivos. Empresarial: Estructura empresarial limitativa. Sector privado enfocada en los menores gastos y evasión de inversiones. Las empresas se dedican exclusivamente a la interconexión y no visualizan la existencia de un mercado grande en la generación distribuida.	<u>Clúster de energías:</u> A) Políticas y acciones empresariales desalineadas dan pauta a estructurar modelos de negocios adecuados para 1) fomenta la integración de los participantes, 2) fomentar el desarrollo económico y 3) disminuir el conflicto de interés generado por las soluciones similares que ofrecen los participantes del

		fuentes de financiamiento		<p>clúster. Se recomienda fomentar la instalación de proyectos de generación distribuida. Una estrategia similar a la que emplean IluMéxico y Acciona Microenergía permitiría paliar la escasez energética, ocuparía la capacidad local de las comunidades ofreciendo empleo y disminuiría el conflicto de interés entre los pertenecientes al clúster. B) Establecer un</p>
--	--	------------------------------	--	--

<p>Ingeniería, construcción e instalación</p>	<p>Normativas internacionales de instalación eléctrica</p>	<p>Solo existen normativas para la instalación de capacidades mayores a 0.5MW</p>	<p>Solo existen normativas para la instalación de capacidades mayores a 0.5MW Competición por precio Sobreoferta de servicios, tanto capacitados como no capacitados Disminución del mercado a causa de incendios en instalaciones eléctricas mal hechas</p>	<p>Técnicas: Cumplimiento de los requerimientos de las normativas internacionales. Sobreoferta de instaladores que no cumplen con las normativas y desincentivan el mercado Conocimiento: Las personas egresadas de las instituciones académicas requieren conocimientos de planeación, estrategia y costos. Empresariales: No hay estandarización y monitoreo de instalaciones lo cual</p>	<p>Empresarial: Estructura empresarial limitativa. Sector privado enfocada en los menores gastos y evasión de inversiones. Las empresas se dedican exclusivamente a la interconexión y no visualizan la existencia de un mercado grande en la generación distribuida. Conflicto de interés entre las empresas pertenecientes al clúster</p>	<p><u>Clúster de energías:</u> B) Establecer un equipo de trabajo que monitoree las instalaciones y que garantice, a través del algún reconocimiento local, que las instalaciones son seguras. C) Difusión de la importancia de la seguridad en la instalación y relevancia de las unidades de vigilancia</p>
---	--	---	--	--	--	--

				limita una vigilancia o monitoreo activo		
Operación y mantenimiento	Normativas internacionales de instalación eléctrica	Solo existen normativas para la instalación y operación de capacidades mayores a 0.5MW	Solo existen normativas para la instalación de capacidades mayores a 0.5MW Incendios causados por malas instalaciones eléctricas de los módulos	Técnicas: Sobreoferta de instaladores no capacitados y que desincentivan el mercado Instalaciones no cumplen con normativas de conexiones eléctricas, por lo que dar mantenimiento es complejo. Tecnológicas: Modificaciones tecnológicas rápidas y que pierden validez con facilidad	Técnica: Se requiere de la estandarización de los proyectos, de forma tal que sea posible monitorear, corregir los errores y evitar incendios.	<u>Clúster de energías:</u> B) Establecer un equipo de trabajo que monitoree las instalaciones y que garantice, a través del algún reconocimiento local, que las instalaciones son seguras. C) Difusión de la importancia de la seguridad en la instalación y relevancia de las unidades de vigilancia
Desmantelamiento	Existencia de una política pública que fomente el	Ley General para la prevención y gestión integral de	Los distribuidores e instaladores desechan los	Política local de manejo de residuos es insuficiente	Desconocimiento del proceso de reciclaje. Espacios limitados para	Establecer criterios de recolección

	reciclado de los módulos	residuos. Norma Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011	residuos sin un manejo especial. Se desconocen programas que permitan la recolección de pilas fotovoltaicas ni de los paneles.	Condiciones para el almacenaje limitativo Infraestructura de transporte limitativa	la recolección y almacenamiento de los paneles Visualización de que el reciclaje debe realizarse en el exterior	
--	--------------------------	---	---	---	--	--

RECAPITULACIÓN Y CONCLUSIONES FINALES

- La industria se caracteriza por ser altamente competitiva y tener una tendencia creciente de consumo y producción a nivel mundial a causa de, principalmente, la caída del precio de su insumo más costoso: la celda fotovoltaica.
- La cadena global de valor de la energía solar analizada se divide en 2 segmentos. Conforme los eslabones de la cadena de valor avanzan hacia las actividades finales, existe una disminución de requerimientos técnicos y científicos para el desarrollo de las actividades.
 - Segmento I: Generación de insumos. La permanencia en esta sección depende del cumplimiento de requerimientos técnicos, científicos y tecnológicos que permiten a las empresas líderes producir en grandes volúmenes, reducir sus costos de producción y establecer barreras de entrada y permanencia a los pequeños y medianos productores.
 - Segmento II: Instalación. Sección dependiente de la política energética de cada país y la escala a la cual se implementan los proyectos, esta sección está relacionada a: 1) las condiciones contextuales de cada región, 2) la cantidad de instituciones que promuevan el uso de energías renovables en cada país, y 3) la aceptabilidad de estas tecnologías en la región.
- China es un jugador crítico para el desarrollo y estabilidad de la industria. Este país tiene una alta participación en el mercado de la industria, lo cual le permite tener un nivel de injerencia relevante tanto desde el lado de la demanda de productos, como el de la oferta de insumos. Su posición estratégica gobierna de manera global a todas las instituciones relacionadas con la industria mediante una relación cautiva.
- Si bien, el nivel de desarrollo de la industria, la integración vertical y la producción a escala son ventajas importantes para la permanencia y dominancia en el corto y mediano plazo, en el largo plazo, la innovación y el desarrollo tecnológico son las actividades más relevantes al generar oportunidades para modificar la gobernanza mundial del sector. No obstante, las condiciones de gobernanza del tipo relacional en este segmento limitan el ingreso de empresas nuevas, principalmente a aquellas provenientes de países en desarrollo, quienes comienzan con el desarrollo de capacidades técnicas para la instalación y tienen limitaciones financieras para el desarrollo de grandes laboratorios y centros de investigación.
- La industria local se encuentra constituida por un total de 28 actores formales relacionados a la industria solar fotovoltaica. Todos los actores identificados se ubican en dos regiones del estado: los Valles Centrales y el Istmo, siendo los Valles Centrales la zona con mayor concentración.
- El sector mapeado se compone de 5 organizaciones académicas tanto públicas como privadas que proveen de servicios de educación en los niveles técnico, superior y posgrado; 17 empresas

locales, 2 asociaciones civiles y 4 instituciones reguladoras (tanto del sector gubernamental como asociaciones público-privadas).

- Existen acciones cuyo objetivo es impulsar a la industria de energías renovables, incluyendo la industria solar, no obstante, el conflicto de intereses que existe entre los diferentes actores de la cadena limita el desarrollo de esta.
- La cadena local del Estado presenta limitaciones en términos de infraestructura e insumos.
 - Investigación y desarrollo tecnológico – Enmarcada en una gobernanza del tipo cautiva limitada por el acceso a infraestructura y financiamiento para el desarrollo de capacidades de investigación.
 - Proveedores de componentes – No existen proveedores nacionales. Los países proveedores de los recursos son China, Taiwan, Estados Unidos, España y Reino Unido.
 - Manufactura de componentes – Eslabón constituido por una única empresa cuya gobernanza es de mercado, al enfocarse en la producción para la instalación y no en la producción para la distribución.
 - Distribución – La distribución a nivel nacional se realiza por grandes almacenes ubicados en Guadalajara y Yucatán.
 - Planeación (diseño y financiamiento); Ingeniería, construcción e instalación; y Operación y mantenimiento se caracterizan por la existencia de una gobernanza del tipo relacional y de mercado. Es común que las empresas compartan personal o subcontraten a otras cuyas capacidades técnicas. Las condiciones del capital relacional han permitido generar grupos de empresas que colaboran entre sí y ha dividido la oferta de servicios entre aquellas que colaboran y realizan proyecto en conjunto y aquellas que realizan sus actividades de forma individual.
 - Desmantelamiento - Se desconoce la existencia de un programa local o nacional específico que permita el reciclaje o reutilización de los paneles con fallas. Los participantes de la cadena local consideran que el reciclaje debe de ser realizado fuera del país dejando de lado la posibilidad de que Oaxaca pudiese incursionar en este eslabón.
- Las instituciones más relevantes para el impulso de las estrategias locales son:
 - Cluster de energías - Mediante A) el establecimiento de un modelo de negocios funcional que permita que los agentes puedan relacionarse entre sí y no compitan por el mismo mercado, y B) la aplicación de un esquema de balance de poderes dentro de la organización, la cual permita a las instituciones del sector participar y opinar sin tener repercusiones comerciales, así como proponer nuevas políticas públicas y esquemas para el desarrollo empresarial en el Estado.

- Gobierno del Estado. A través de A) el fomento a la integración del clúster de energías, no obstante, integrar políticas que permitan la distribución del poder del sector, es decir, reducir la cantidad de posiciones de poder que puede tomar una organización dentro del clúster y asociaciones existentes, B) la promoción de una política industrial basada en reciclaje y C) el incentivo del clúster a generar propuestas de política para el desarrollo de estándares de instalación y verificación de las instalaciones.

Conclusiones

El estado cuenta con los requerimientos de radiación necesarias para la generación de energía y reducir la falta de electrificación regional. Por otro lado, las condiciones climáticas y los compromisos tanto nacionales como locales promueven dentro del estado la posibilidad de desarrollar la industria. No obstante, existen condiciones actuales del estado que no permiten el desarrollo de una industria que pueda integrarse a la cadena valor global debido a:

1. la falta de cumplimiento de las normativas mínimas para participar a nivel técnico
2. falta de adopción de tecnología que permita la reducción de costos y mano de obra poco calificada
3. desalineación de los objetivos de las organizaciones representativas de la cadena de valor y la lucha por el acaparamiento del mercado
4. conflictos de interés existentes entre las organizaciones que tienen la capacidad de modificar las condiciones actuales del sector.

Si bien, existe la posibilidad de desarrollar una industria a nivel local, la posibilidad de poder organizarla y promoverla depende de la alineación de los intereses de los actores locales.

Las acciones críticas para el desarrollo de la industria dependen principalmente de dos condiciones:

1. que se implemente criterios para pesos y contrapesos dentro del clúster de energía
2. que se desarrollen modelos de negocios que permitan la alineación de intereses de los participantes del clúster y disminuyan la lucha por el acaparamiento del mercado.

Se identifican dos modelos negocios potenciales:

- 1) El desarrollo de cooperativas de energía renovable, las cuales tienen como crear comunidades prosumidoras de energía y generadoras de energía. Bajo estos esquemas, el clúster podría generar las capacidades locales para el desarrollo de proyectos de generación distribuida que puedan ser ejecutadas por la mano de obra local.

- 2) El desarrollo de un fondo revolvente que permita el préstamo de efectivo para el desarrollo de los proyectos y la adquisición de infraestructura para el desarrollo de actividades.

Uno de los eslabones poco estudiados y relevantes en los próximos años es el reciclaje de los módulos. No obstante, a nivel local no se aplican políticas que promuevan el reciclaje de estos residuos. Una estrategia que podría emplearse para reducir los residuos y mejorar la calidad del aprendizaje e investigación es la donación de los módulos estrellados o defectuosos a las unidades educativas de la región.

Como hemos visto a lo largo del documento, la industria se caracteriza por ser altamente competitiva y tener una tendencia creciente de consumo y producción a nivel mundial. Si bien, el estado no puede competir en términos de costos, puede competir a través de la mano de obra y la instalación de energía en lugares de difícil acceso (Generación distribuida). Si bien, la rentabilidad de estos proyectos no resulta relevante para las grandes empresas al no tratarse de macroproyectos, estos podrían permitir a las organizaciones locales obtener los recursos necesarios para generar un fondo y potenciar la instalación de proyectos.

BIBLIOGRAFÍA

- Asamblea General de las Naciones Unidas. (29 de 11 de 2020). *Desarrollo sostenible*. Obtenido de Asamblea General de las Naciones Unidas: <https://www.un.org/es/ga/president/65/issues/sustdev.shtml#:~:text=Se%20define%20%20%20%20desarrollo%20sostenible,para%20satisfacer%20sus%20propias%20necesidades%20%20BB>.
- Asghar, Z. (2008). Energy–GDP relationship: A causal analysis for the five countries of South Asia. *Applied Econometrics and International Development*, 167-180.
- Banco Mundial. (05 de 11 de 2020). *DOING BUSINESS. Midiendo regulaciones para hacer negocios*. Obtenido de Facilidad para hacer negocios en Oaxaca de Juárez - México. 2016: <https://espanol.doingbusiness.org/es/data/exploreconomies/mexico/sub/oaxaca-de-juarez>
- Biosfera Desarrollos & Coenergía. (2017). *Evaluación de Necesidades Regionales 2: Estados de Chiapas, Guerrero y Oaxaca*. México: Secretaría de Energía.
- Biosfera Desarrollos & Coenergía. (2018). *Evaluación de Necesidades Regionales 5*. México: Secretaria de Energía.
- Biosfera Desarrollos & Coenergía. (2018). *Evaluación de Necesidades Regionales 7*. México: Secretaria de Energía.
- Bloomberg. (1 de Julio de 2019). Urzúa de México optimista sobre conflicto de gasoducto. Obtenido de <https://www.bloomberg.com/latam/blog/urzua-de-mexico-optimista-sobre-conflicto-de-gasoducto/>
- Bloomberg Finance. (2020). *Clean Energy Investment Trends, 2019*. BloombergNEF. Obtenido de <https://data.bloomberglp.com/professional/sites/24/BloombergNEF-Clean-Energy-Investment-Trends-2019.pdf>
- Burke, M. J., & Stephens, J. C. (2017). *Political power and renewable energy futures: A critical review*. Energy Research & Social Science. ELSEVIER.
- CEMDA. (2016). *Marco jurídico de las energías renovables en México*. México: CEMDA.
- CENACE. (2019). *Programa de Ampliación y Modernización de la Red Nacional de Transmisión y Redes Generales de Distribución del Mercado Eléctrico Mayorista (PRODESEN 2019-2033)*. México: Secretaría de Energía.

- Centro Mario Molina. (2013). *Ciudades Con Iniciativas Climaticas: Oaxaca*. México: Estrategias Regionales y Sectoriales para Lograr un Desarrollo Sustentable y de Baja Intensidad de Carbono en México.
- DDPP Deep. (01 de 01 de 2020). *Deep Decarbonization Pathways Project*. Obtenido de Deep Decarbonization Pathways Project: <http://deepdecarbonization.org/>
- El periódico de la energía. (29 de 11 de 2020). *Los 10 mayores fabricantes de módulos fotovoltaicos del mundo en 2019: JinkoSolar, más líder*. Obtenido de El periódico de la energía: <https://elperiodicodelaenergia.com/los-10-mayores-fabricantes-de-modulos-fotovoltaicos-en-2019-jinkosolar-mas-lider/>
- ENERGETEC, APRES, SOLARVATIO, CCEA, & SOL, C. E. (02 de 2020). Entrevistas con actores locales de la cadena de valor. (A. L. Cisneros, Entrevistador)
- Espinosa, L. L. (02 de 2020). Entrevista a Conect Sol - Cazando el Sol. (A. L. Cisneros, Entrevistador)
- Fernández-Stark, K., & Gereffi, G. (2011). *Manual desarrollo económico local y cadenas globales de valor*. North Carolina, Estados Unidos: Center on Globalization, Governance & Competitiveness (CGGC). Duke University Durham.
- Gereffi, G. (2001). Las cadenas productivas como marco analítico para la globalización. *Problemas del Desarrollo. México, IIEc-UNAM*, 9-37.
- Gereffi, G. (2019). Global value chains and international development policy: Bringing firms, networks and policy-engaged scholarship back in. *Journal of International Business Policy*.
- Gereffi, G., & Fernández-Stark, K. (2016). *Global Value Chain: A primer*. Carolina del Norte, Estados Unidos: Center on Globalization, Governance and Competitiveness, Social Science Research Institute. Obtenido de <https://gvcc.duke.edu/cggclisting/global-value-chain-analysis-a-primer-2nd-edition/>
- Gereffi, G., Humphrey, J., & Sturgeon, T. (2005). The governance of global value chains. *Review of International Political Economy*, 78-104.
- Gobierno de la República. (2012). *Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018*. México: Gobierno de la República. Obtenido de https://www.snieg.mx/contenidos/espanol/normatividad/MarcoJuridico/PND_2013-2018.pdf

- Green Rhino Energy. (28 de Julio de 2019). *Green Rhino Energy*. Obtenido de Green Rhino Energy Web site: http://www.greenrhinoenergy.com/solar/industry/ind_valuechain.php
- Green Rhino Energy. (22 de 05 de 2020). *Solar Value Chain*. Obtenido de Green Rhino Energy: http://www.greenrhinoenergy.com/solar/industry/ind_valuechain.php
- Iain, S., & Mitchell, C. (2018). *Towards pragmatic narratives of societal engagement in the UK energy*. Reino Unido: Energy Research & Social Science. ELSEVIER.
- IEA. (2018). *World Energy Outlook (WEO) - Special Report*. Paris: IEA.
- INAFED. (03 de 11 de 2020). *Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México*. Obtenido de Oaxaca. Medio Físico.: <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM20oaxaca/mediofisico.html>
- Iniciativa UNA ONU: Asociación para el aprendizaje sobre el Cambio Climático. (1 de Agosto de 2014). Introducción a la mitigación del Cambio Climático. *Introducción a la mitigación del Cambio Climático*. ONU. Obtenido de https://www.uncclearn.org/sites/default/files/modulo_4_introduccion_a_la_mitigacion_del_cambio_climatico_revised.pdf
- Institut für seltene Erden und strategische Metalle. (29 de 11 de 2020). *Precios actuales de metales estratégicos*. Obtenido de Institut für seltene Erden und strategische Metalle: <https://es.institut-seltene-erden.de/precios-actuales-de-metales-estrat%C3%A9gicos/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (22 de 01 de 2020). *Información económica y estatal*. Obtenido de Oaxaca 2019: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/438151/oaxaca_2019.pdf
- International Energy Agency. (2019). *Global Energy & CO2 Status Report - The latest trends in energy and emissions in 2018*. Paris: IEA.
- IRENA, IEA & REN21. (2018). *Renewable Energy Policies in a Time of Transition*. IRENA, IEA y REN21.
- Ivanova, A., & López Vega, C. (2013). La crisis energética y las políticas para implementación de energías renovables. En M. Villa, M. Cariño, M. Cingolani, E. Correa, A. Girón, J. Déniz, . . . G. Vidal, *Estrategias para un Desarrollo Sustentable frente a las tres crisis finanzas, economía y medio ambiente* (págs. 267-285). México: Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa y MAPorrúa.

- Juárez-Hernández, S., & León, G. (2014). Energía eólica en el istmo de Tehuantepec: desarrollo, actores y oposición social. *Problemas del Desarrollo. Revista Latinoamericana de Economía*, 139-162. doi:10.1016/S0301-7036(14)70879-X
- Ministère fédéral de la Coopération économique et du Développement de la République fédérale d'Allemagne, Agence Nationale de la Maîtrise de l'Énergie de la République tunisienne. (2013). *Analyse de la chaîne de valeur des technologies relatives à l'énergie solaire en Tunisie*. Túnez: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.
- Mori, A. (2017). *Socio-technical and political economy perspectives in the Chinese energy transition*. Tokio: Energy Research & Social Science. ELSEVIER.
- Obras Web. (16 de Mayo de 2019). 53 proyectos de energía en México están detenidos por trámites y conflictos. Mexico. Obtenido de <https://obrasweb.mx/infraestructura/2019/05/16/53-proyectos-de-energia-en-mexico-estan-detenidos-por-tramites-y-conflictos>
- Porter, M. E. (1999). *La ventaja competitiva de las naciones*. Buenos Aires, Argentina: Ediciones B Argentina s.a.
- PV Magazine. (29 de 11 de 2020). *Las explosiones en la planta de polisilicio de GCL reducen la capacidad mundial de producción en un 10%*. Obtenido de PV Magazine: <https://www.pv-magazine.es/2020/07/21/las-explosiones-en-la-planta-de-polisilicio-de-gcl-reducen-la-capacidad-mundial-de-produccion-en-un-10/>
- REN21. (2019). *Renewables 2019 Global Status Report*. Paris: REN21.
- Review Energy. (29 de 11 de 2020). *Motivos del brusco incremento actual de precios de los módulos fotovoltaicos*. Obtenido de Review Energy: <https://www.review-energy.com/opinion/motivos-del-brusco-incremento-actual-de-precios-de-los-modulos-fotovoltaicos>
- Ritchie, H., & Roser, M. (16 de Octubre de 2019). *Our World in data*. Obtenido de Energy Production & Changing Energy Sources: <https://ourworldindata.org/energy-production-and-changing-energy-sources>
- Rivas Mira, F. A. (2006). Las interfases entre propiedad intelectual y energías renovables. *Revista de Estudios Internacionales*, 119-131. doi:10.5354/0719-3769.2011.14445

- Sandoval Cabrera, S. V. (2011). *Tesis doctoral: La cadena global de hortalizas: La estrategia de ascenso de los productores de Sinaloa*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de economía.
- Sandoval Cabrera, S. V. (2012). Gobernabilidad y ascenso en la cadena de valor: discusión conceptual. *Análisis Económico*, 7-23.
- SDE México. (24 de 05 de 2020). *Tipos De Celdas Solares. Principales diferencias de las celdas solares*. Obtenido de SDE México: <http://www.sde.mx/tipos-de-celdas-solares/>
- Secretaría de Economía. (2017). *Plan de Desarrollo de Proveedores en las Cadenas Productivas de la Industria Eléctrica en el Sector de las Energías Alternativas en el Estado de Oaxaca*. Oaxaca: Gobierno del Estado de Oaxaca.
- Secretaría de Energía. (2016). *Evaluación rápida del uso de la energía: Oaxaca de Juárez, Oaxaca, México*. Oaxaca: Secretaría de Energía, Banco Mundial, ESMAP, TRACE.
- Secretaria de Energía. (2018). *Evaluación de Necesidades Regionales 1*. México: Secretaria de Energía.
- Secretaria de Energía. (2018). *Evaluación de Necesidades Regionales 3*. México: Secretaria de Energía.
- Secretaría de Energía. (2018). *Programa de desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2018-2032*. México: Secretaria de Energía.
- Secretaria de Energía. (28 de 04 de 2019). *Observatorio del Ecosistema de Innovación de las Energías Limpias*. Obtenido de Observatorio del Ecosistema de Innovación de las Energías Limpias: <https://oel.mx/OEL/normatividad>
- Secretaría de Gobernación. (2019). *Anexo XVIII-Bis*. México: Gaceta Parlamentaria. Obtenido de <http://gaceta.diputados.gob.mx/PDF/64/2019/abr/20190430-XVIII-1.pdf>
- Semaedeso. (2018). *Programa Estatal de Cambio Climático de Oaxaca 2016-2022*. Oaxaca: Secretaría del Medio Ambiente, Energías y Desarrollo Sustentable.
- Smarbitt. (2 de Diciembre de 2019). *Smarbitt*. Obtenido de Radiación Solar: <http://energiasolar.smartbitt.com/radiacion-solar/>
- Solarvatio. (06 de 11 de 2020). *Solarvatio*. Obtenido de LinkedIn: <https://www.linkedin.com/company/solarvatio---f%C3%A1brica-de-m%C3%B3dulos-solares>

- Statista. (29 de 11 de 2020). *Evolución anual del precio medio del silicio en los Estados Unidos desde 2014 a 2019*. Obtenido de Statista: <https://es.statista.com/estadisticas/601154/precio-medio-del-silicio-estados-unidos/>
- Statista. (20 de 09 de 2020). *Países líderes en la producción de silicio a nivel mundial 2019*. Obtenido de Statista: <https://es.statista.com/estadisticas/600220/paises-lideres-en-la-produccion-de-silicio-a-nivel-mundial/>
- Statista. (29 de 05 de 2020). *Ranking de los principales países productores de silicio a nivel mundial en 2019*. Obtenido de Statista: <https://es.statista.com/estadisticas/600220/paises-lideres-en-la-produccion-de-silicio-a-nivel-mundial/>
- Stern, N. (2006). *STERN REVIEW: The Economics of Climate Change*. United Kindom: HMTreasury.
- Sturgeon, T. J. (2011). De cadenas de mercancías (commodities) a cadenas de valor: construcciones teóricas en una época de globalización. *EuTopía*, 11-38.
- Sunfields. (29 de 11 de 2020). *Células Fotovoltaicas: Explicación de qué son los lingotes y obleas de silicio solar*. Obtenido de Sunfields: <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/celula-fotovoltaica-lingotes-obleas/>
- Sunfields Europe. (29 de 11 de 2020). *Fabricación de células fotovoltaicas: Obtención y purificación del silicio*. Obtenido de Sunfields Europe: <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/celula-fotovoltaica-obtencion-purificacion-del-silicio/>
- Suškevičs, N., Eiter, S., Martinat, S., Stober, D., Vollmer, E., De Boer, C., & Buchecker, M. (2018). *Regional variation in public acceptance of wind energy development in Europe: What are the roles of planning procedures and participation?* Estonia: Land Use Policy. ELSEVIER.
- Thiam, D. R. (2011). Renewable energy, poverty alleviation and developing. *Journal of Energy in Southern Africa*, 23-34.
- WIPO, Cornell University & INSEAD. (2018). *Global Innovation Index 2018. Energizing the World with Innovation*. WIPO.
- World Bank. (28 de marzo de 2020). *PIB (US\$ a precios actuales)*. Obtenido de Datos de libre acceso del Banco Mundial: <https://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GDP.MKTP.CD>
- Wyman, O. (2016). *World Energy Trilemma*. Reino Unido: World Energy Council.

Leyes

Ley de Hidrocarburos - http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LHidro_151116.pdf

Ley de la Agencia Nacional de Seguridad Industrial y de Protección al Medio Ambiente del Sector de Hidrocarburos - http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LANSI_110814.pdf

Ley de los Órganos Reguladores Coordinados en Materia Energética - http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LORCME_110814.pdf

Ley de Transición Energética (2015) - <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LTE.pdf>

Ley de la Comisión Federal de Electricidad - http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LCFE_110814.pdf

Bases de datos consultadas

Base de datos de actores. Secretaría de Energía. (2019, Abril 28). Observatorio del Ecosistema de Innovación de las Energías Limpias. <https://oel.mx/OEL/informacion>

Base de datos de Normatividad de las Evaluaciones de Necesidades Regionales. Secretaría de Energía. (2019, Abril 28). Observatorio del Ecosistema de Innovación de las Energías Limpias. <https://oel.mx/OEL/informacion>

ANEXO 1. METODOLOGÍA PARA LA PRIORIZACIÓN Y SELECCIÓN DE ENTREVISTADOS

El levantamiento de datos en campo fue el elemento crítico para la realización del análisis de la cadena local. La elección de los actores a entrevistar se realizó en cuatro etapas, como se muestra en la figura siguiente:

Figura 30 Proceso de priorización y selección de entrevistados



Fuente: Elaboración propia

Para identificar a los actores, de forma inicial, se realizó una investigación de escritorio cuyos principales insumos fueron las bases de datos de la Asociación Nacional de Energía Solar y los estudios previos de la cadena de valor realizados por la Secretaría de Energía. No obstante, dadas las condiciones de cambio de gobierno a nivel nacional y estatal entre los periodos de revisión y escritura de los informes recopilados generaron la necesidad de actualizar el mapeo de actores realizados hasta el momento.

Se agendaron reuniones con dos de los actores clave identificados en los documentos previos y uno de los actores perteneciente al clúster de energías pero que no pertenece de forma directa al sector fotovoltaicos. Se realizó una presentación del trabajo y una entrevista exploratoria relacionada con las condiciones del sector y el estado.

La información recopilada durante las entrevistas exploratorias permitió la actualización del contexto de la industria y el estado, ampliando así, el universo de instituciones a estudiar y las bases de datos a identificar.

Considerando el *Plan de Desarrollo de Proveedores en las Cadenas Productivas de la Industria Eléctrica en el Sector de las Energías Alternativas en el Estado de Oaxaca* (2017), la *Evaluación de Necesidades Regionales 2* (2017), la *base de datos del Observatorio de Energías Limpias* de la Secretaría de Energía (2019), los *afiliados a la Asociación Nacional de Energía Solar* (ANES), el *directorio del clúster de Energía de Oaxaca*, directorios industriales relacionados con la proveeduría de servicios solares fotovoltaicos y servicios relacionados, el *Padrón Vigente de Empresas Especializadas FIDE*, la *lista de Proveedores participantes en el Programa Eco-Crédito Empresarial (PAEEM)* y el *Padrón de Programas de Calidad de CONACYT*, se identificaron un total de 27

actores relacionados a la industria solar fotovoltaica, con las siguientes características: 1) Capacidad de tomar decisiones sobre la industria solar fotovoltaica, 2) aporte que puede generar a la industria, 3) implementadores de proyectos socialmente exitosos y 4) retiro y formalización de las organizaciones. En total, se realizaron 10 entrevistas a instituciones privadas, académicas y gubernamentales de la región.

ANEXO 2. GOBERNANZA DE LA CADENA DE VALOR

La tipología de la gobernanza de las cadenas es caracterizada por tres variables que definen el contenido y el carácter de las relaciones entre las empresas (Gereffi, 2001; Sandoval Cabrera S. V., 2011; Gereffi, Humphrey y Sturgeon, 2005)

- La complejidad de las transacciones: dificultad de transmitir la información y el conocimiento requeridos para sostener una transacción particular respecto a las especificaciones de productos y procesos. La complejidad de las transacciones es baja ante la demanda de activos de baja especificidad o aquellos cuyos procesos y productos se encuentren estandarizados.
- La capacidad de codificación: capacidad de codificar la información y conocimientos transferidos de forma eficiente y sin inversión de costos de transacción mundanos entre las partes. En este sentido, si la codificación es baja, la información que se transmite es compleja y se requiere una estrecha coordinación para comunicar los requerimientos del comprador, por lo general, cuando esto ocurre se debe a la alta especificidad de los activos. Mientras que, si la codificación de la información es alta, los requerimientos pueden ser transmitidos y entendidos de manera eficiente, no obstante, el grado de especificidad de los activos puede ser alto o bajo.
- La competencia del proveedor: capacidad de los proveedores actuales y potenciales para resolver, de forma eficiente, las demandas del comprador en relación con sus requerimientos específicos. Cuando la habilidad del productor es alta, supone que ha entendido bien los requerimientos del comprador, independientemente de si necesitó una estrecha comunicación o no, o si la especificidad de los activos era alta o baja. De lo contrario, cuando la habilidad del productor es baja, la satisfacción de la demanda del cliente requiere de un alto control y monitoreo del proceso por parte de la firma líder.

Dadas estas tres características, se obtienen los siguientes cinco tipos de gobernanzas (Tomado y traducido directamente de Gereffi, Humphrey, & Sturgeon, 2005, p. 85-87):

1. De mercados: las transacciones se codifican fácilmente, las especificaciones del producto son relativamente simples y los proveedores tienen la capacidad de fabricar los productos con poca participación de los compradores. La complejidad de la información intercambiada es

relativamente baja, las transacciones requieren poca coordinación explícita. En este caso, los compradores responden a las especificaciones y precios establecidos por los vendedores. Los costos de cambiar a nuevos socios son bajos tanto para los productores como los compradores.

2. Modular: los proveedores fabrican productos según las especificaciones del cliente, que pueden ser más, o menos, detalladas (productos complejos). Se presentan los siguientes casos: 1) la arquitectura del producto es modular y los estándares técnicos simplifican las interacciones al reducir la variación de componentes y al unificar las especificaciones de componentes, productos y procesos, y 2) cuando los proveedores tienen la competencia para suministrar paquetes y módulos completos, lo que internaliza la información difícil de codificar (información tácita), reduce la especificidad de los activos, resultando en la necesidad del comprador de un monitoreo y control directo. Los enlaces basados en conocimiento codificado proporcionan muchos de los beneficios de los enlaces de mercado independientes (velocidad, flexibilidad y acceso a insumos de bajo costo), pero no son lo mismo que los intercambios de mercado clásicos basados en el precio. Debido a la codificación, se puede intercambiar información compleja con poca coordinación explícita y, al igual que el simple intercambio de mercado, el costo de cambiar a nuevos socios se mantiene bajo.
3. Relacional: Las especificaciones del producto no pueden codificarse, las transacciones son complejas y las capacidades del proveedor son altas. Esto se debe a que el conocimiento tácito debe intercambiarse entre compradores y vendedores, y porque los proveedores altamente competentes proporcionan una fuerte motivación para que las empresas líderes subcontraten para obtener acceso a competencias complementarias. La dependencia mutua que surge puede gestionarse mediante la reputación o los lazos familiares y étnicos, o bien, la proximidad social y espacial. También se puede manejar a través de mecanismos que imponen costos a la parte que rompe un contrato. El intercambio de información tácita compleja se logra con mayor frecuencia mediante la interacción cara a cara y se rige por altos niveles de coordinación explícita, lo que eleva los costos de cambiar a nuevos socios.
4. Cautivo: la capacidad de codificación y la complejidad de las especificaciones del producto son altas, pero las capacidades del proveedor son bajas. Esto como resultado de la baja competencia del proveedor frente a productos y especificaciones complejas, los cuales requieren una gran intervención y control por parte de la empresa líder, lo que fomenta la acumulación de dependencia transaccional a medida que las empresas líderes buscan encerrar a los proveedores para excluir a otros de cosechar los beneficios de sus esfuerzos. Los proveedores enfrentan costos de cambio significativos y están "cautivos". Los proveedores cautivos se limitan con frecuencia a una gama limitada de tareas y dependen de la empresa líder para realizar actividades

complementarias. Los vínculos cautivos entre empresas controlan el oportunismo a través del dominio de las empresas líderes, al tiempo que proporcionan suficientes recursos y acceso al mercado a las empresas subordinadas para que la salida sea una opción poco atractiva.

5. Jerárquica: cuando no se pueden codificar las especificaciones del producto, los productos son complejos y no se pueden encontrar proveedores altamente competentes, las empresas líderes se verán obligadas a desarrollar y fabricar productos internamente. Este formulario de gobernanza generalmente está impulsado por la necesidad de intercambiar conocimiento tácito entre las actividades de la cadena de valor; así como por la necesidad de administrar de manera efectiva redes complejas de entradas y salidas y controlar los recursos, especialmente la propiedad intelectual.

En la *Tabla 34* se presentan la caracterización de cada una de las gobernanzas.

Tabla 34 Determinantes clave de la gobernanza de la cadena de valor global

Tipo de gobernanza	Complejidad de las transacciones	Habilidad para codificar las transacciones	Capacidades de los proveedores	Complejidad de las transacciones
Mercados	Baja	Alta	Alta	Baja
Modulares	Alta	Alta	Alta	↑ ↓
Relacionales	Alta	Baja	Alta	
Cautiva	Alta	Alta	Baja	
Jerárquica	Alta	Baja	Baja	Alta

Fuente: (Gereffi, Humphrey, & Sturgeon, The governance of global value chains, 2005, pág. 87)

ANEXO 3. MARCO JURÍDICO DE LAS ENERGÍAS LIMPIAS EN MÉXICO

Ley	Descripción de la ley
Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos	<p>Art. 4. “Toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar. El Estado garantizará el respeto a este derecho. El daño y deterioro ambiental generará responsabilidad para quien lo provoque en términos de lo dispuesto por la ley”.</p> <p>Art. 25. “Corresponde al Estado la rectoría del desarrollo nacional para garantizar que éste sea integral y sustentable, que fortalezca la Soberanía de la Nación y su régimen democrático y que, mediante el fomento del crecimiento económico y el empleo y una más justa</p>

	<p>distribución del ingreso y la riqueza, permita el pleno ejercicio de la libertad y la dignidad de los individuos, grupos y clases sociales, cuya seguridad protege esta Constitución”.</p> <p>Art. 26. A. “El Estado organizará un sistema de planeación democrática del desarrollo nacional que imprima solidez, dinamismo, permanencia y equidad al crecimiento de la economía para la independencia y la democratización política, social y cultural de la nación”.</p> <p>Art. 27.⁷⁷ “Corresponde exclusivamente a la Nación la planeación y el control del sistema eléctrico nacional, así como el servicio público de transmisión y distribución de energía eléctrica; en estas actividades no se otorgarán concesiones, sin perjuicio de que el Estado pueda celebrar contratos con particulares en los términos que establezcan las leyes, mismas que determinarán la forma en que los particulares podrán participar en las demás actividades de la industria eléctrica”.</p> <p>Art. 28.⁷⁸ “No constituirán monopolios las funciones que el Estado ejerza de manera exclusiva en las siguientes áreas estratégicas: correos, telégrafos y radiotelegrafía; minerales radiactivos y generación de energía nuclear; la planeación y el control del sistema eléctrico nacional, así como el servicio público de transmisión y distribución de energía eléctrica, y la exploración y extracción del petróleo y de los demás hidrocarburos, en los términos de los párrafos sexto y séptimo del artículo 27 de esta Constitución, respectivamente; así como las actividades que expresamente señalen las leyes que expida el Congreso de la Unión.”</p> <p>Art. 115. III. “Los Municipios tendrán a su cargo las funciones y servicios públicos siguientes: (...) b) alumbrado público”.</p> <p>Art. 124. “Las facultades que no están expresamente concedidas por esta Constitución a los funcionarios federales, se entienden reservadas a los Estados”, en los ámbitos de sus respectivas competencias</p>
--	--

⁷⁷ Reforma realizada en 2013

⁷⁸ Reforma realizada en 2013

	<p>Decreto por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en Materia de Energía.</p> <p>Décimo Séptimo Transitorio. Dentro de los trescientos sesenta y cinco días naturales siguientes a la entrada en vigor del presente Decreto, el Congreso de la Unión realizará las adecuaciones al marco jurídico, para establecer las bases en las que el Estado procurará la protección y cuidado del medio ambiente, en todos los procesos relacionados con la materia del presente Decreto en los que intervengan empresas productivas del Estado, los particulares o ambos, mediante la incorporación de criterios y mejores prácticas en los temas de eficiencia en el uso de energía, disminución en la generación de gases y compuestos de efecto invernadero, eficiencia en el uso de recursos naturales, baja generación de residuos y emisiones, así como la menor huella de carbono en todos sus procesos. En materia de electricidad, la ley establecerá a los participantes de la industria eléctrica obligaciones de energías limpias y reducción de emisiones contaminantes.</p>
<p>Reforma energética (2013)</p>	<p>Esta reforma consideró la reforma de los artículos 25, 27 y 28 de la Constitución. Esta reforma contempla la apertura comercial para la exploración y explotación de hidrocarburos: petróleo, gas y sus derivados; y el sector eléctrico en el país. En el caso de los hidrocarburos, la asignación de contratos para estas actividades será celebrada con el Estado. Estos contratos podrán ser de licencia, de servicios y de utilidad o producción compartida, y serán asignados a través de licitaciones por la Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH), uno de los dos órganos reguladores del sector. Adicionalmente, esta da autorización para la extracción de hidrocarburos mediante el <i>fracking</i>.</p>

	<p>Establece la modificación orgánica⁷⁹ de la Comisión Reguladora de Energía (CRE), quien a partir de entonces es la encargada de entregar los permisos para la generación y el suministro de electricidad; y la CNH.</p>
<p>Reformas secundarias (2013 y 2014)</p>	<p>Ley de Hidrocarburos (REF: 201680) - La presente Ley es reglamentaria de los artículos 25, párrafo cuarto; 27, párrafo séptimo y 28, párrafo cuarto de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en materia de Hidrocarburos. Tiene por objeto regular las siguientes actividades en territorio nacional: I. El Reconocimiento y Exploración Superficial, y la Exploración y Extracción de Hidrocarburos; II. El Tratamiento, refinación, enajenación, comercialización, Transporte y Almacenamiento del Petróleo; III. El procesamiento, compresión, licuefacción, descompresión y regasificación, así como el Transporte, Almacenamiento, Distribución, comercialización y Expendio al Público de Gas Natural; IV. El Transporte, Almacenamiento, Distribución, comercialización y Expendio al Público de Petrolíferos, y V. El Transporte por ducto y el Almacenamiento que se encuentre vinculado a ductos, de Petroquímicos.</p> <p>Ley de la Industria Eléctrica – Tiene por objeto, regular la planeación y el control del Sistema Eléctrico Nacional, el Servicio Público de Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica y las demás actividades de la industria eléctrica. Promover el desarrollo sustentable de la industria eléctrica y garantizar su operación continua, eficiente y segura en beneficio de los usuarios.</p> <p>Ley de la energía Geotérmica – Tiene por objeto, regular el reconocimiento, la exploración y la explotación de recursos geotérmicos para el aprovechamiento de la energía térmica del subsuelo dentro de los límites del territorio nacional, con el fin de generar energía eléctrica o destinarla a usos diversos</p>

⁷⁹ Originalmente, el pleno de la CNH y la CRE estaba integrado por cinco miembros; sin embargo, a partir de la reforma, el número se eleva a siete; todos ellos serán propuestos por el presidente y tendrán que ser ratificados por el Senado

⁸⁰ Se publicó en 2014, sin embargo, se reformó en 2016.

	<p>Ley de la Comisión Federal de Electricidad – Esta Ley tiene por objeto regular la organización, administración, funcionamiento, operación, control, evaluación y rendición de cuentas de la empresa productiva del Estado Comisión Federal de Electricidad.</p> <p>El artículo 4 establece el fin de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) siendo este el “desarrollo de actividades empresariales, económicas, industriales y comerciales en términos de su objeto, generando valor económico y rentabilidad para el Estado Mexicano como su propietario. En la ejecución de su objeto, la Comisión Federal de Electricidad deberá actuar de manera transparente, honesta, eficiente, con sentido de equidad, y responsabilidad social y ambiental, procurando el mejoramiento de la productividad con sustentabilidad para minimizar los costos de la industria eléctrica en beneficio de la población y contribuir con ello al desarrollo nacional. Asimismo, la Comisión Federal de Electricidad garantizará el acceso abierto a la Red Nacional de Transmisión y a las Redes Generales de Distribución, la operación eficiente del sector eléctrico y la competencia”. El artículo 5 establece el objeto de la CFE como “prestar, en términos de la legislación aplicable, el servicio público de transmisión y distribución de energía eléctrica, por cuenta y orden del Estado Mexicano”.</p> <p>Ley de la Agencia Nacional de Seguridad Industrial y Protección al Medio Ambiente del Sector Hidrocarburos – Esta ley tiene por objeto crear la Agencia Nacional de Seguridad Industrial y de Protección al Medio Ambiente del Sector Hidrocarburos, como un órgano administrativo desconcentrado de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, con autonomía técnica y de gestión. La Agencia tiene por objeto la protección de las personas, el medio ambiente y las instalaciones del sector hidrocarburos a través de la regulación y supervisión de: I. La Seguridad Industrial y Seguridad Operativa; II. Las actividades de desmantelamiento y abandono de instalaciones, y III. El control integral de los residuos y emisiones contaminantes.</p>
--	--

	<p>Ley de los Órganos Reguladores Coordinados en Materia Energética – Esta ley es reglamentaria del párrafo octavo del artículo 28 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos y tiene por objeto regular la organización y funcionamiento de los Órganos Reguladores Coordinados en Materia Energética y establecer sus competencias. Establece que los Órganos Reguladores Coordinados en Materia Energética serán las siguientes dependencias del Poder Ejecutivo Federal: I. La Comisión Nacional de Hidrocarburos, y II. La Comisión Reguladora de Energía; y tendrán autonomía técnica, operativa y de gestión. Contarán con personalidad jurídica y podrán disponer de los ingresos derivados de los derechos y los aprovechamientos que se establezcan por los servicios que prestan conforme a sus atribuciones y facultades.</p>
Ley de Transición Energética (2015)	Esta ley tiene por objetivo regular el aprovechamiento sustentable de la energía, así como las obligaciones en materia de Energías Limpias y de reducción de emisiones contaminantes de la Industria Eléctrica, manteniendo la competitividad de los sectores productivos.
<p>LEYES ABROGADAS:</p> <p>Ley de la Comisión Reguladora de Energía</p> <p>Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica</p>	

Fuente: Elaboración propia con información de las leyes mencionadas, el reporte Marco jurídico de las energías renovables en México de CEMDA, las Evaluaciones de Necesidades Regionales 2 y 5 de SENER y la base de datos de Normatividad de las Evaluaciones de Necesidades Regionales.

ANEXO 4. INSTRUMENTOS DE LEVANTAMIENTO DE DATOS EN CAMPO

Nombre de la organización: _____

Persona contactada: _____

A. Entrevista a empresas manufactureras

Caracterización de la empresa

Favor de describir el giro de la empresa

Número de empleados. ¿Hombres y mujeres?

- ¿Cuáles son los requerimientos académicos para la contratación de personal?
- ¿Entre qué rango de salarios se encuentran los salarios del personal en la empresa?

	MXN mensual
	3000-8000
	8000-12000
	12000-16000
	>16000

- ¿Con qué infraestructura cuenta para realizar sus actividades?

Gestión de la innovación y tecnología (enriquecer patrimonio, inventariar, evaluar, vigilar, asimilar, proteger y administrar)

- ¿De qué manera incentiva la inversión en I+D+i (innovación, investigación y desarrollo tecnológico)?
- ¿Ha documentado sus recursos técnicos, tecnológicos? (Inventario de capital y conocimiento)
- ¿Tiene manuales de procedimientos para ensamblar los módulos? ¿Qué tan complicado es codificar esta información y transmitirla cuando hay ingreso de nuevo personal?
- ¿Tiene conocimiento de quiénes son su competencia directa? ¿Son de México?
- ¿Conoce el entorno económico, normativo, científico, tecnológico y de los competidores? ¿Qué tan rápido cambia la tecnología y las técnicas para el ensamblado? ¿Qué tan sencillo es entender y asimilar los cambios que se realizan?
- ¿Generan invenciones o innovaciones en el ensamblaje o algún componente de los módulos fotovoltaicos?

- ¿Protegen su tecnología? ¿De qué forma (patentes, secretos industriales, modelo de utilidad)?
- ¿Cuáles considera que son las mayores dificultades a la hora de innovar (calificación del personal, cambio tecnológico rápido, modificación de estándares globales, adquisición de insumos para innovar, permisos para uso de tecnología de otras organizaciones, etc.)?
- Al momento de innovar, ¿se enfrentan con alguna limitante propiciadas por la protección de patente?

Vinculación con otros actores

- ¿Quiénes son sus competidores principales? ¿Cuáles son sus ventajas en comparación ellos?
- ¿Qué vinculación tienen con la academia? ¿Realizan investigación en conjunto?
- ¿El capital humano formado en las instituciones académicas está lo suficientemente capacitado para realizar las actividades de ensamblaje? ¿Y de innovación?
- ¿Qué vinculación tiene con otras empresas del sector?
- ¿Qué tipo de vinculación tienen con el sector gubernamental?
- ¿Qué tan sencillo es acceder a financiamiento para el desarrollo de la industria? ¿Qué organizaciones pueden financiar la expansión de ésta?
- ¿La electrificación, el acceso al agua o las condiciones de los caminos, condicionan el desarrollo de su empresa?
- ¿Existen redes de soporte (gremios, cooperativas, asociaciones, información centralizada) dentro de la industria?
- ¿Qué se requiere para propiciar la vinculación en la industria solar del estado?

Características de producto y de mercado

- ¿Existen estándares mundiales de calidad y composición de los módulos? ¿Quiénes lo establecen?
- ¿Cuáles son las características más relevantes de un panel fotovoltaico? ¿Qué es lo que busca el consumidor de un panel fotovoltaico? ¿Qué tan relevante es el precio de un módulo fotovoltaico en el mercado?
- ¿Cuál es el costo de su producto más vendido?
- ¿Qué porcentaje del costo del producto corresponde a costos de material y a salarios?
- ¿De dónde provienen sus insumos?
- ¿Existen proveedores locales que produzcan o distribuyan los insumos que requiere para el ensamblaje de los módulos fotovoltaicos?
- ¿Qué porcentaje de sus insumos son de carácter local y nacional? ¿Qué insumos son?

- El mercado al que se dirige la organización ¿es local, nacional, internacional? ¿En qué porcentaje?
- ¿Qué tanta aceptación tiene su producto en el mercado local y en su mercado meta?
- ¿Qué tanto se consumen sus productos en Oaxaca?
- ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de la tecnología fotovoltaica en Oaxaca? ¿Cambia rápidamente? ¿Competitividad por precios? ¿La adquisición de los insumos es compleja?
- ¿Qué tipo de residuos genera la producción de módulos y cómo se tratan en el estado?

Políticas públicas y su impacto en el sector

- ¿Qué instituciones son críticas para el desarrollo y expansión del sector?
- ¿Existen políticas públicas a nivel estado o nación que promuevan el desarrollo de su actividad?
- ¿Existen políticas públicas a nivel estado o nación que frenen el desarrollo de su actividad?
- ¿Cómo afectan las regulaciones laborales a la industria?
- ¿Qué leyes ambientales influyen en el desarrollo de su empresa?
- ¿Existen incentivos gubernamentales que promuevan el desarrollo de sus actividades?
- ¿Ha influido el cambio de la política pública nacional o estatal la producción de sus productos o a la innovación de éstos? ¿De qué manera?

Comentarios sobre la información a emplear:

B. Entrevista a empresas distribuidoras e implementadoras

Caracterización de la empresa

- Favor de describir el giro de la empresa
- Número de empleados. ¿Hombres y mujeres?
- ¿Cuáles son los requerimientos académicos para la contratación de personal?
- ¿Entre qué rango de salarios se encuentran los salarios del personal en la empresa?

	MXN mensual
	3000-8000
	8000-12000
	12000-16000

	>16000
--	--------

- ¿Con qué infraestructura cuenta para realizar sus actividades?

Gestión de la innovación y tecnología

- ¿Su empresa incentiva la inversión en I+D+i (innovación, investigación y desarrollo tecnológico)? SÍ / NO ¿De qué manera?
- ¿Tiene manuales de procedimientos para la instalación de paneles? ¿Qué tan complicado es codificar esta información y transmitirla cuando hay ingreso de nuevo personal?
- ¿Tiene conocimiento de quiénes son su competencia directa?
- ¿Han desarrollado técnicas o métodos que faciliten el desarrollo de sus actividades? ¿Los protegen? ¿De qué forma (patentes, secretos industriales, modelo de utilidad)?

Vinculación con otros actores

- ¿Quiénes son sus competidores principales? ¿Cuáles son sus ventajas en comparación ellos?
- ¿Qué vinculación tienen con la academia? ¿Realizan investigación en conjunto?
- ¿Qué vinculación tiene con otras empresas del sector?
- ¿Qué tipo de vinculación tienen con el sector gubernamental?
- ¿Qué se requiere para propiciar la vinculación en la industria solar del estado?

Características de producto y de mercado

- ¿Cómo seleccionan un panel fotovoltaico? ¿Qué tan relevante es el precio de un módulo fotovoltaico para considerar su instalación?
- ¿Cuáles son las características más relevantes de un panel fotovoltaico para considerar su instalación?
- ¿Existe una marca de productos que empleen más?
- ¿Cuál es el costo aproximado del KW?
- ¿Qué porcentaje del costo del producto corresponde a costos de material y a salarios?
- ¿De dónde provienen sus insumos? ¿Qué porcentaje de los insumos que consumen son locales?
- ¿Qué porcentaje de sus insumos son de carácter local y nacional? ¿Qué insumos son?
- ¿Existen estándares locales, nacionales y/o internacionales para la instalación de módulos fotovoltaicos? ¿Quiénes los determinan? ¿Se siguen estos estándares?
- ¿Qué sector de la población (el sector comercial, industrial u hogares) es el que más acepta el uso de módulos fotovoltaicos? ¿Cuál menos? ¿Por qué?

- ¿El capital humano formado en las instituciones académicas está lo suficientemente capacitado para realizar las actividades de ensamblaje? ¿Y de innovación?
- ¿Qué tan sencillo es acceder a financiamiento para el desarrollo de la industria? ¿Qué organizaciones pueden financiar la expansión de ésta?
- ¿Existen redes de soporte (gremios, cooperativas, asociaciones, información centralizada) dentro de la industria?

Políticas públicas y su impacto en el sector

- ¿Qué instituciones son críticas para el desarrollo y expansión del sector?
- ¿Existen políticas públicas a nivel estado o nación que promuevan el desarrollo de su actividad?
- ¿Existen políticas públicas a nivel estado o nación que frenen el desarrollo de su actividad?
- ¿Existen apoyos gubernamentales a los consumidores finales que permitan el consumo de sus servicios?
- ¿Ha influido el cambio de la política pública nacional o estatal al consumo de sus servicios? ¿De qué manera?

C. Entrevistas a organizaciones generadoras de capacidades

Caracterización de la institución y las capacidades generadas

- Favor de describir el giro de la empresa
- ¿La educación que proporciona tiene como objetivo generar investigación o preparar a los individuos para el campo laboral?
- Número de empleados dedicados al desarrollo o capacitación en energía solar ¿Cuántos son mujeres y cuántos hombres?
- ¿Cuáles son sus líneas de investigación relacionadas con el sector solar?
- ¿Con qué infraestructura cuenta para realizar sus actividades?
- Número de alumnos matriculados por generación y número de generaciones que se han graduado.
- ¿Qué porcentaje de los egresados ejercen su profesión?, ¿De qué forma la ejercen? ¿En qué regiones del estado o del país ejercen?
- ¿Cuáles son los principales desafíos para la formación de capital humano en esta industria?
- ¿Cuáles son las principales limitantes del sistema educativa en la formación de capital humano para la industria?

Innovación y gestión de la innovación y tecnología

- ¿Cuáles son las características deseables de una innovación tecnológica en energía solar?

- ¿La institución incentiva la inversión en I+D+i (innovación, investigación y desarrollo tecnológico)? ¿De qué forma?
- ¿Conoce el entorno económico, normativo, científico, tecnológico y del mercado de la energía solar? ¿Qué tan rápido cambia la tecnología y las técnicas de instalación de los módulos fotovoltaicos? ¿Qué tan sencillo es entender y asimilar los cambios que se realizan?
- ¿Protegen sus invenciones o innovaciones? ¿De qué forma (patentes, secretos industriales, modelo de utilidad)?
- ¿Cuáles considera que son las mayores dificultades a la hora de innovar (calificación del personal, falta de insumos, cambio tecnológico rápido, modificación de estándares globales, adquisición de insumos para innovar, permisos para uso de tecnología de otras organizaciones, etc.)?
- Al momento de innovar, ¿se enfrentan con alguna limitante propiciadas por la protección de patente?
- ¿La institución cuenta con alguna oficina de transferencia de tecnología (OTT) o incubación? SÍ / NO
- ¿Se ha comercializado alguna invención?

Vinculación con otros actores

- ¿Qué otras instituciones ofrecen capacitación relacionada con la energía solar? ¿Cuáles son sus ventajas en comparación ellos?
- ¿Tienen vínculos con otras instituciones a nivel local, nacional e/o internacional para para realizar investigación en conjunto?
- ¿Qué vinculación tiene con el sector productivo? ¿Realizan proyectos en conjunto?
- ¿Qué tipo de vinculación tienen con el sector gubernamental?
- ¿Qué se requiere para propiciar la vinculación en la industria solar del estado?
- ¿Existen redes de soporte (gremios, cooperativas, asociaciones, información centralizada) dentro de la industria?

Características de los insumos empleados en sus servicios

- ¿Cómo eligen los insumos para realizar su investigación o sus capacitaciones?
- ¿Consumen insumos locales? ¿Sí, no, por qué?
- ¿Qué tan relevante es el costo de los insumos para su empleo en la capacitación de personal?

Políticas públicas y su impacto en el sector

- ¿Qué tipo de acciones gubernamentales podrían fomentar la generación de capacidades en energía solar?
- ¿Existen becas que permitan que los alumnos se especialicen son ustedes? ¿De dónde provienen los fondos (son gubernamentales o de capital privado)?

D. Entrevistas a sector público / consultores en energía de la región

Preguntas:

- ¿Qué características del estado son propicias para ser aprovechadas a través energías renovables?
 - ¿De qué forma, el gobierno del estado promociona el desarrollo de la industria solar?
 - ¿Existen políticas públicas locales que promuevan el desarrollo de innovación o desarrollo tecnológico en energías renovables?
 - ¿Existen políticas públicas locales que promuevan la implementación de energías renovables?
 - ¿Existen incentivos fiscales que promuevan el desarrollo de la industria energética solar del estado?
 - ¿Cuál es el mayor reto social al que se enfrenta el desarrollo de la energía renovable en Oaxaca?
 - ¿Qué tan aceptado es el desarrollo de la energía solar en el estado?
 - ¿Qué proyectos, cuyo fin sea promover el desarrollo local, han implicado la utilización o desarrollo de tecnologías energéticas solares? ¿Qué capacidades técnicas requieren los profesionales que diseñan los proyectos?
 - ¿Cuáles son los posibles impactos ambientales de la implementación de proyectos solar en la región?
 - ¿Se tienen proyectos relacionados con el reciclado de los módulos fotovoltaicos?
 - ¿Existen fondos estatales para el desarrollo de la industria energética, incluyendo la energía solar?
 - En caso de desarrollar proyectos solares, ¿qué aspectos son los más relevantes en cuanto a la selección de proveedor? ¿Se tiene preferencia por proveedores locales?
 - ¿Qué vinculación tienen con la academia y con las empresas del sector? ¿Realizan proyectos de investigación o implementación en conjunto?
- ¿Qué se requiere para propiciar la vinculación en la industria solar del estado?