

**Financiamiento para Acceder a Tecnologías de Energías
Renovables de Generación Eléctrica Distribuida
(FATERGED) en México**

**Cadena de valor de la generación distribuida
fotovoltaica en México**

© 2019 ICM / INEEL

Los textos e ilustraciones que se presentan en este documento han sido preparados para efectos exclusivamente informativos y de referencia. Todas las fotografías, diagramas, tablas e ilustraciones sin referencia han sido creados por el Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias (INEEL). Ni las organizaciones ni las personas participantes en la elaboración de este documento, aceptan responsabilidad alguna por pérdidas o daños en ninguna persona o propiedad, que resulten del uso del material, criterios, instrucciones, recomendaciones, datos, métodos o ideas aquí contenidos, o de la acción o abstención de acción que resultaren de tal uso. La aplicación de dicha información en ningún caso confiere inmunidad a obligaciones legales.

Este documento fue desarrollado por la Gerencia de Energías Renovables del Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias (INEEL) en colaboración con Iniciativa Climática de México, A.C., bajo el contrato ICM/I/NC/19548.

Prefacio

En este documento se presenta el estudio “Cadena de valor de la generación distribuida fotovoltaica en México” desarrollado por el Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias (INEEL) bajo contrato con Iniciativa Climática de México (ICM), como parte de los trabajos suscritos en el Proyecto de Financiamiento para Acceder a Tecnologías de Energías Renovables de Generación Eléctrica Distribuida (FATERGED), de la Secretaría de Energía (SENER).

Resumen ejecutivo

La expansión de la **generación distribuida fotovoltaica (GDFV)** en México ha sobrepasado las proyecciones trazadas en los primeros años, **acumulando al 2018 un registro de instalaciones estimado en alrededor de 680 MW¹. La tendencia indica que este oleaje seguirá creciendo de manera progresiva,** aun cuando durante 2018 se haya manifestado una notable desaceleración, en comparación con años anteriores. El nivel actual de penetración exhibe ya un escalamiento a mayores niveles de capacidad agregada a la red de distribución, **por lo que el alcance de 1 GW acumulado es inminente en los próximos años.**

Ante tal panorama, resulta por demás estratégico examinar la cadena de valor de la **GDFV** de nuestro País, para tener una visión ponderada de los elementos que están participando en su dinámica. El planteamiento que al respecto se hace en este documento, hace una revisión amplia del tema que va desde el pre-mercado, pasando por la manufactura y culminando con el ciclo de vida del proyecto. Con ello, se intenta aportar puntos de reflexión que, como fin último, contribuyan a un mayor entendimiento de este quehacer industrial por parte de los actores participantes, y propicie el eventual fortalecimiento de sus eslabones.

A nivel de **pre-mercado**, en el ámbito de la investigación, el desarrollo tecnológico y la innovación (I+D+i), se identifica durante el último lustro un notable incremento de actividad por parte de las entidades académicas del sector público, dirigida al desarrollo de nuevos materiales de celda. Se reconoce en este sentido, la aportación en directrices y recursos del **CEMIE-Sol** y la valiosa incorporación de un mayor número de instituciones académicas a los proyectos apoyados. No obstante, este avance sigue siendo marginal, ya que persiste un alto grado de desconexión con la masa crítica industrial, eximiéndose hasta el momento del salto de escala requerido para la transferencia y explotación efectiva de las tecnologías desarrolladas.

También se cuenta ya en México con al menos dos **laboratorios de pruebas** de módulos fotovoltaicos (**MFV**). En particular, el **Laboratorio Nacional de Evaluación Fotovoltaica (LANEFV)** desarrollado por el **IER** de la **UNAM** representa un avance en este renglón. El **LANEFV** cuenta una infraestructura robusta, que le permite llevar a cabo las pruebas a las que deben someterse los módulos fotovoltaicos para evaluar su calidad.

En cuanto a la **manufactura de MFV** de marcas extranjeras en el País, alguna vez catalogada como un nuevo boom maquilador, se presenta en la actualidad un panorama difícil. Apenas subsiste una marca estadounidense con un par de plantas de manufactura asentadas en territorio nacional; si bien, de significativa capacidad. En lo que corresponde a la base nacional de fabricantes, se contabiliza una decena con una capacidad de manufactura que en su conjunto sería suficiente para satisfacer la demanda actual del mercado de **GDFV**. La

¹ Los valores que se presentan en este resumen corresponden a datos referidos o resultados generados en el estudio.

sustancial disminución de precios de esta tecnología en el concierto internacional de proveedores, principalmente asiáticos, introduce una fuerte presión para los fabricantes mexicanos. En la producción nacional de otros componentes se reconocen avances: al menos una empresa fabrica inversores de interconexión con la red, y un industrial mexicano de gran presencia en el mercado fabrica cable **FV**.

La **integración de sistemas** es el segmento de la cadena de valor de la **GDFV** que exhibe el principal nicho de oportunidad para el empresariado nacional. Las empresas integradoras tienen como misión esencial la de desarrollar proyectos de **SFV-GD**, contribuyendo directamente a la expansión de la tecnología y al crecimiento de la capacidad instalada **FV** en el País. Aunque no se cuenta con un sistema nacional de registro de empresas integradoras de **SFV-GD** al cual remitirse, existen datos de referencia que permiten ponderar su peso específico. Estos datos son los proporcionados por asociaciones como ANES o ASOLMEX. El dato que más resalta en este sentido es el padrón de FIRCO/ANCE con un recuento de más de 750 empresas. En otro sentido, permea la existencia de más de 400 **UVIE** y alrededor de 17 **UIIE** compitiendo para la aprobación de las instalaciones.

Como últimos segmentos al final de la cadena de valor se encuentran la **operación** y el **retiro** de los sistemas. Refiriéndose a la **operación**, un sondeo realizado demuestra que sólo un 13% de las empresas integradoras publicita expresamente la oferta de servicios de O&M, en tanto que menos del 50% incorpora de facto en su estrategia de negocio la O&M. Por otra parte, se corrobora que las acciones de negocio en el **retiro** de los sistemas aún no es un tema de ocupación de la industria. Sin embargo, la proyección de este segmento de negocio merece ya tomarse en cuenta si se considera que el volumen de los residuos acumulados de **MFV** generados en México para 2020 podrían ir de 850 a 1,500 toneladas, y para 2030 esto se incrementaría en un rango de 6,500 a 30,000 toneladas, considerando pérdidas tempranas y cumplimiento de vida útil.

Se abordan aspectos relevantes de la **GDFV** en el marco de los nuevos esquemas de mercado y la transformación de la red. Tal es el caso del surgimiento de conceptos como la **Energía Transactiva**, así como el rol que se juega en la transformación de la red hacia una operación inteligente y los nuevos segmentos de valor que están surgiendo.

El estudio presenta un análisis de diversos **indicadores clave** considerando **costo instalado**, **costo nivelado de energía**, **valor de mercado**, **valor agregado** y **número de empleos**. Al no aplicar el requisito de **contenido nacional** se presenta la **balanza comercial FV**.

- Un sondeo comercial directo arroja como **costo instalado** específico de **SFV-GD** en México en 2018 los siguientes: para pequeña escala, estimado en términos de una capacidad de 10 kW_p, un valor de 1.68 USD/W_p; y para mediana escala, en términos de una capacidad de 100 kW_p, un valor de 1.34 USD/W_p.
- El **costo nivelado de energía** correspondiente es de 0.12 y 0.09 USD/kWh, respectivamente. Tomando como referencia las metas de la Iniciativa SunShot de Estados Unidos al 2030 (0.05 y 0.04 USD/kWh) se elaboran escenarios de reducción

de costos; dando como resultado que para lograr los niveles de costo establecidos por dicha iniciativa se requeriría una reducción promedio en los costos del 7% anual.

- El **valor de mercado** de los **SFV-GD**, asumido igual al precio de mercado o costo instalado, se desglosa con base en una distribución representativa, y se proyecta al 2025 con base en las tendencias 2017 y 2018 para **GD** de la **CRE**. Se estima que, en ese año, el mercado podría estar agregando cerca de 2 GW de nueva capacidad, equivalente a un volumen de ventas del orden de los 3,000 millones de USD.
- El **valor agregado** se expresa en términos del margen bruto (**MB**) y el precio de venta de mercado. Se discuten **MB** encontrados en la industria global. Se estiman valores agregados específicos (**USD/W_p**) para cadenas de valor de componentes: **MFV** 0.05; inversores, microinversores y optimizadores, 0.03; accesorios eléctricos, 0.06; y estructura y accesorios de montaje, 0.02. Se estiman valores agregados específicos por segmento en proyectos de pequeña y mediana escala. Con ello, se estima el valor agregado (**MM USD**) de proyectos de **GDFV** para un escenario de ventas de 350 MW: gestión 5.3, ingeniería 5.6, procura 28.9, construcción 17.9, y total 57.6.
- Se ha estimado, según datos de la **SENER**, que en 2017 más de 10,000 **empleos** correspondieron a la industria solar **FV**. La estimación presentada en este estudio focalizada a la **GDFV** proyecta la creación de 25,000 empleos nuevos para 2025.
- El **contenido nacional** no es medible actualmente en el ámbito de la **GDFV**, ya que no se ha establecido como requisito, ni para otorgamiento de incentivos federales o locales, ni para contratación pública. Los pros y contras de este requisito se discuten. Alternativamente, se presenta la **balanza comercial** en celdas y módulos con datos del **SIAVI** bajo las fracciones arancelarias **8541.40.01**, **8541.40.02** y **8541.40.03**.

A través de un breve análisis FODA se emite un diagnóstico de la cadena de valor de la **GDFV** en México y, con ello, se establecen posibles estrategias generales para fortalecer las debilidades de cada eslabón y afrontar algunos de los retos identificados

Como elemento final, el estudio presenta en un anexo una serie de tablas que integran matricialmente una **perspectiva** de oportunidades de negocio vinculadas a la **GDFV** en México. Estas tablas presentan en una revisión de las oportunidades de negocio potenciales dentro de la cadena de valor de la **GDFV** en el ámbito nacional; pasando por áreas tales como la producción de materiales, la industria de manufacturas, el ramo eléctrico, la construcción, los servicios de operación y mantenimiento, los servicios vinculados a las tecnologías de la información, los servicios educativos y el comercio.

Este estudio puede ser de utilidad no sólo a los líderes encargados de tomar las decisiones en materia de energía eléctrica, sino también a otras partes interesadas como las empresas del ramo y los mismos propietarios de **SFV-GD**. No obstante, debido a que la información en este tema es aún escasa y en su mayoría obedece a sondeos, estimaciones y promedios, se advierte que el material presentado no constituye una guía de actuación sino un material de referencia para la toma de decisiones.

Contenido

Lista de figuras.....	ix
Lista de tablas	xi
Lista de Acrónimos.....	xii
Unidades	xiv
1 Introducción.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Generación distribuida fotovoltaica: marco legal y regulatorio	1
1.3 Concepto de cadena de valor	7
1.4 Avance de la generación distribuida fotovoltaica en México.....	9
1.5 Escenarios de crecimiento de la generación distribuida fotovoltaica en México.....	13
2 Mapeo de la cadena de valor	15
2.1 Cadenas de valor corriente arriba y corriente abajo	15
2.2 Cadena de valor del proyecto	18
3 Segmentos de valor.....	21
3.1 Investigación, desarrollo e innovación	21
3.1.1 Proyectos del Fondo de Sustentabilidad Energética.....	21
3.1.2 Competencias en producción científica.....	29
3.2 Laboratorios de pruebas.....	30
3.3 Proveduría de componentes	31
3.3.1 Fabricantes de módulos, inversores y otros componentes.....	32
3.3.2 Empresas distribuidoras.....	35
3.4 Integración de sistemas.....	36
3.4.1 Empresas integradoras.....	36
3.4.2 Unidades de verificación eléctrica y de inspección.....	37
3.5 Empresas de servicios durante la operación y el retiro	40
3.5.1 Operación y mantenimiento	40
3.5.2 Retiro: desmantelamiento, reciclaje y disposición final.....	42
3.6 La transformación de la red y los nuevos esquemas de mercado	45
3.7 Estado actual de los segmentos de valor: resumen.....	46
4 La dimensión del valor: indicadores clave.....	48
4.1 Costo instalado de un SFV-GD	49
4.1.1 Costo instalado de SFV-GD de pequeña escala	50
4.1.2 Costo instalado de SFV-GD de mediana escala	52
4.1.3 Factor de economías de escala.....	53
4.1.4 Costo instalado en otros países: el caso de Estados Unidos	54
4.2 Costo nivelado de energía.....	55
4.2.1 Estimación del costo nivelado de energía para SFV-GD	55

4.2.2 Costo nivelado de energía de un SFV-GD contra el precio de electricidad de red	56
4.2.3 Escenarios del costo nivelado a futuro	57
4.3 Valor de mercado.....	59
4.3.1. Distribución del valor de mercado	59
4.3.2. Distribución del valor de mercado	61
4.4 Margen bruto y valor agregado	62
4.4.1 Márgenes brutos en las cadenas de valor de los componentes	63
4.4.2 Márgenes brutos en segmentos de la cadena de valor de proyectos.....	64
4.4.3 Valor agregado en las cadenas de valor de componentes.....	65
4.4.4 Valor agregado en la cadena de valor de proyectos	66
4.5 Creación de empleos.....	68
4.6 Contenido nacional: discusión y balanza comercial.....	75
4.6.1 Discusión: pros y contras de un requisito de contenido nacional.....	75
4.6.2 Balanza comercial	77
5 Análisis FODA	81
5.1 Fortalezas y debilidades vs. áreas de oportunidad y retos	81
5.2 Estrategias para fortalecer la cadena de valor	88
6 Sinopsis, conclusiones y recomendaciones	90
6.1 Sinopsis.....	90
6.2 Conclusiones y recomendaciones	91
Referencias	94
Glosario.....	104
ANEXO. Perspectiva de oportunidades de negocio vinculadas a la generación distribuida fotovoltaica en México.....	107

Lista de figuras

Fig. 1-1 Marco legal y regulatorio vigente que aplica a la GDFV.	2
Fig. 1-2 Esquemas de contraprestación en generación distribuida.	6
Fig. 1-3 Expansión de la Generación Limpia Distribuida en México.	10
Fig. 1-4 Expansión de la generación distribuida fotovoltaica 2014-2018.	11
Fig. 1-5 Penetración por escala de los sistemas de la generación distribuida fotovoltaica en México.	11
Fig. 1-6 Capacidad instalada de generación distribuida en México al 2018.	12
Fig. 1-7 Escenarios de crecimiento de la generación distribuida fotovoltaica en México, en términos de la capacidad acumulada.	13
Fig. 2-1 Cadena de valor de la generación distribuida fotovoltaica.	16
Fig. 2-2 Acciones de valor y actores en la cadena de valor de proyectos de generación distribuida fotovoltaica.	19
Fig. 3-1 Distribución del presupuesto del Fondo de Sustentabilidad Energética para proyectos de energía solar fotovoltaica.	24
Fig. 3-2 Proyectos de investigación, desarrollo e innovación en energía solar fotovoltaica, impulsados por el Fondo de Sustentabilidad Energética.	26
Fig. 3-3 Aportaciones del Fondo de Sustentabilidad Energética asignadas a los proyectos fotovoltaicos del CEMIE-Sol.	27
Fig. 3-4 Proyectos nacionales en energía solar fotovoltaica apoyados por el Fondo de Sustentabilidad Energética.	28
Fig. 3-5 Inversión del Fondo de Sustentabilidad Energética en proyectos nacionales de energía solar fotovoltaica.	28
Fig. 3-6 Recuento de empresas nacionales y extranjeras con plantas de manufactura de módulos y componentes fotovoltaicos en México.	33
Fig. 3-7 Distribuidoras de módulos, inversores y componentes de sistemas fotovoltaicos.	36
Fig. 3-8 Distribución geográfica de empresas integradoras fotovoltaicas de acuerdo con el padrón FIRCO/ANCE.	38
Fig. 3-9 Distribución geográfica de Unidades de Verificación de Instalaciones Eléctricas.	38
Fig. 3-10 Distribución geográfica de Unidades de Inspección de la Industria Eléctrica.	40
Fig. 3-11 Sondeo de empresas integradoras con servicios publicitados de O&M.	41
Fig. 3-12 Sondeo de empresas integradoras con contratos suscritos de O&M.	41
Fig. 3-13 Proyección de los residuos acumulados de MFV generados en México.	43
Fig. 3-14 Estado actual de la cadena de valor de la generación distribuida fotovoltaica en México.	47
Fig. 4-1 Desglose del costo instalado específico de un sistema fotovoltaico de generación distribuida de 10 kW _p montado en techo.	51
Fig. 4-2 Distribución porcentual de costos de un sistema fotovoltaico de generación distribuida de 10 kW _p montado en techo.	51

Fig. 4-3 Desglose del costo instalado específico de un sistema fotovoltaico de generación distribuida de 100 kW _p montado en techo.....	52
Fig. 4-4 Distribución porcentual de costos de un sistema fotovoltaico de generación distribuida de 100 kW _p montado en techo.....	53
Fig. 4-5 Costo nivelado de energía para sistemas fotovoltaicos de generación distribuida.	55
Fig. 4-6 Costo nivelado de energía de SFV-GD y precios de electricidad de red.....	56
Fig. 4-7 Escenarios de reducción de costos de un sistema fotovoltaico de generación distribuida de 10 kW _p en México al 2030.	57
Fig. 4-8 Escenarios de reducción de costos de un sistema fotovoltaico de generación distribuida de 100 kW _p en México al 2030.	58
Fig. 4-9 Proyección del valor de mercado 2019-2025 de sistemas fotovoltaicos de generación distribuida en México.....	62
Fig. 4-10 Valor agregado específico en las cadenas de valor de componentes de sistemas fotovoltaicos de generación distribuida, con base en precios al mayoreo (spot).	66
Fig. 4-11 Valor agregado específico en la cadena de valor de proyectos de sistemas fotovoltaicos de generación distribuida de pequeña escala.	67
Fig. 4-12 Valor agregado específico en cadena de valor de proyectos de sistemas fotovoltaicos de generación distribuida de mediana escala.....	67
Fig. 4-13 Escenario de valor agregado por implementación de proyectos de sistemas fotovoltaicos de generación distribuida en el País.....	68
Fig. 4-14 Pronóstico de creación de nuevos empleos en toda la cadena de valor de la generación distribuida fotovoltaica en México.	69
Fig. 4-15 Distribución de empleos por áreas de ocupación en la cadena de valor de la generación distribuida fotovoltaica en México.	70
Fig. 4-16 Empleos contratados en 38 empresas dedicadas a la integración de sistemas.....	71
Fig. 4-17 Empleos subcontratados durante un año en 38 empresas dedicadas a la integración de sistemas.....	72
Fig. 4-18 Distribución de los empleos en 38 empresas dedicadas a la integración de sistemas.....	73
Fig. 4-19 Personal certificado en el estándar EC0586.01 en 38 empresas integradoras.	74
Fig. 4-20 Balanza comercial 2003-2018 de celdas, MFV y LED, bajo la fracción arancelaria 8541.40.01.	78
Fig. 4-21 Balanza comercial 2013-2018 de celdas FV fracción arancelaria 8541.40.02.	79
Fig. 4-22 Balanza comercial 2013-2018 de MFV fracción arancelaria 8541.40.03.	80
Fig. 5-1 Fortalezas y debilidades en la cadena de valor de la generación distribuida fotovoltaica en México.	82
Fig. 5-2 Oportunidades, amenazas y retos en la cadena de valor de la generación distribuida fotovoltaica en México.	83
Fig. 5-3 Estrategias para fortalecer las cadenas de valor de la generación distribuida fotovoltaica.	89

Lista de tablas

Tabla 2-1 Cadena de valor de la generación distribuida fotovoltaica en México.	17
Tabla 3-1 Instituciones y centros de investigación nacionales con participación en proyectos de energía solar fotovoltaica.	22
Tabla 3-2 Proyectos de energía solar fotovoltaica con apoyo del Fondo de Sustentabilidad Energética 2009-2015.	23
Tabla 3-3 Proyectos del CEMIE-Sol en el área de energía solar fotovoltaica 2014-2018. ...	25
Tabla 3-4 Empresas fabricantes de módulos de origen nacional.	33
Tabla 3-5. Comparativo de funciones entre Unidades de Verificación Eléctrica y Unidades de Inspección de la Industria Eléctrica.	39
Tabla 4-1 Estimación de la distribución del valor de mercado de proyectos de sistemas fotovoltaicos de generación distribuida.	60

Lista de Acrónimos

ABM	Asociación de Bancos de México A.C.
AMFEF	Asociación Mexicana de Fabricantes de Equipos Fotovoltaicos, A.C.
AMIF	Asociación Mexicana de la Industria Fotovoltaica, A.C.
AMUVIE	Asociación Mexicana de Unidades de Verificación de Instalaciones Eléctricas, A.C.
ANCE	Asociación de Normalización y Certificación, A.C.
ANES	Asociación Nacional de Energía Solar, A.C.
ASOLMEX	Asociación Mexicana de Energía Solar, A.C.
BNEF	Bloomberg New Energy Finance
BoS	Balance of System
CA	Corriente alterna
CANACINTRA	Cámara Nacional de la Industria de Transformación
CANAME	Cámara Nacional de Manufacturas Eléctricas
c.c.	Corriente continua
CEL	Certificado de Energías Limpias
CEMAC	Clean Energy Manufacturing Analysis Center
CEMIE-Sol	Centro Mexicano de Innovación en Energía Solar
CENACE	Centro Nacional de Control de Energía
CFE	Comisión Federal de Electricidad
CME	Conjunto Muestra Estudiado
CNE	El costo nivelado de energía, también denominado costo nivelado de generación (CNG)
COFEMER	Comisión Federal de Mejora Regulatoria
CONACYT	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
CONOCER	Consejo Nacional de Normalización y Certificación de Competencias Laborales
CONUEE	Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía
CRE	Comisión Reguladora de Energía
DAP	Delivered At Place (entregado en lugar, de destino convenido)
DIEX	Directorio de Empresas Exportadoras
DOF	Diario Oficial de la Federación
EPC	Engineering, Procurement and Construction
FAMERAC	Fabricantes Mexicanos de Energías Renovables AC
FATERGED	Financiamiento para Acceder a Tecnologías de Energías Renovables de Generación Eléctrica Distribuida
FIDE	Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica
FIFOMI	Fideicomiso de Fomento Minero
FIRCO	Fideicomiso de Riesgo Compartido
FOTEASE	Fondo de Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía
FSE	Fondo de Sustentabilidad Energética
FV	Fotovoltaico(a)

G20	Grupo de los 20 países principales industrializados y emergentes
GD	Generación Distribuida
GDFV	Generación Distribuida Fotovoltaica
GE	Generador Exento
GIZ	Deutsche Gesellschaft Für Internationale Zusammenarbeit, GmbH
GLD	Generación Limpia Distribuida
GTM	Green Tech Media
I+D+i	Investigación, Desarrollo e Innovación
ICM	Iniciativa Climática de México
IEA	International Energy Agency
IEA-PVPS	International Energy Agency - Photovoltaic Power Systems Programme
IER	Instituto de Energías Renovables
IMMEX	Decreto para el Fomento de la Industria Manufacturera, Maquiladora y de Servicios de Exportación
IMP	Instituto Mexicano del Petróleo
INEEL	Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
INFONAVIT	Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores
IRENA	International Renewable Energy Agency
LCOE	Levelized Cost of Energy
LIE	Ley de la Industria Eléctrica
NREL	National Renewable Energy Laboratory
O&M	Operación y Mantenimiento
O&M+d	Operación, Mantenimiento y Desmantelamiento
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
OIT	Organización Internacional del Trabajo
PML	Precio Marginal Local
PROFEPA	Procuraduría Federal de Protección al Ambiente
PwC	PricewaterhouseCoopers México
RGD	Red General de Distribución
SE	Secretaría de Economía
SENER	Secretaría de Energía
SFV	Sistema Fotovoltaico
SFV-GD	Sistema Fotovoltaico en Generación Distribuida
SIAVI	Sistema de Información Arancelaria Vía Internet
SIEM	Sistema de Información Empresarial Mexicano
SIMIR	Sistema de Manifestación de Impacto Regulatorio
SSB	Suministrador de Servicios Básicos
UIIE o UI	Unidad de Inspección de la Industria Eléctrica
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
UVIE	Unidad de Verificación de Instalaciones Eléctricas
WWF	World Wildlife Fund

Unidades

Tensión eléctrica

V	Volt
kV	Kilovolt

Potencia eléctrica / Capacidad de generación en corriente continua (o pico)[‡]

W_p	Watt pico
kW_p	Kilowatt pico
MW_p	Megawatt pico
GW_p	Gigawatt pico

[‡] El subíndice p indica la unidad de potencia pico en corriente continua (c.c.) que el sistema fotovoltaico es capaz de producir; es equivalente a la notación W_{dc} usada por otros autores.

Consumo/Generación de energía eléctrica

GWh	Gigawatt-hora
-------	---------------

Moneda

MXN	Peso mexicano
USD	Dólar estadounidense
$MM USD$	Millones de dólares estadounidenses

1 Introducción

1.1 Antecedentes

Este documento presenta el estudio de la cadena de valor de la **Generación Distribuida Fotovoltaica (GDFV)** en México, con el interés de aportar un punto de referencia adicional a lo que en este sentido otros estudios ya han esbozado [1], [2], [3], [4], [5].

El estudio forma parte del proyecto denominado **Financiamiento para Acceder a Tecnologías de Energías Renovables de Generación Eléctrica Distribuida (FATERGED)** y ha sido realizado para **Iniciativa Climática de México (ICM)**, bajo el auspicio de la **Secretaría de Energía (SENER)**. Para su integración se han recopilado y analizado datos recientes disponibles, con lo cual se ha generado información en torno al escenario actual y los actores principales de la **GDFV** en México.

En general, el estudio

- plantea un esquema de la cadena de valor identificando las actividades relevantes y establece indicadores para la evaluación de dichas actividades,
- identifica oportunidades y necesidades para la consolidación de la cadena de valor,
- **emite un diagnóstico de la GDFV en México, en términos del mercado,** e
- identifica nichos de oportunidad para el desarrollo tecnológico, económico y de capital humano de la industria nacional de productos y servicios vinculada a la **GDFV**.

El estudio está limitado en los siguientes aspectos:

- el mapeo de la cadena de valor es no exhaustivo;
- las actividades de la cadena de valor que se abordan son aquellas que se consideran de mayor relevancia en los ejes de tecnología, economía y capital humano;
- el estudio se concentra en los actores de la cadena de valor, sus capacidades y su impacto en el mercado; y
- **los datos y medidas ofrecidas están sujetas a la información más actualizada disponible.**

1.2 Generación distribuida fotovoltaica: marco legal y regulatorio

En la **Fig. 1-1** se presentan los marcos legal y regulatorio vigentes que aplican a la GDFV en México. El marco legal se fundamenta por la Ley de la Industria Eléctrica (LIE) [6] y la Ley de Transición Energética (LTE) [7]. El marco regulatorio se integra por tres resoluciones con disposiciones administrativas [8] [9] [10], las bases del mercado eléctrico [11], los lineamientos relativos a Certificados de Energías Limpias (CEL) [12], el *Manual de Interconexión de*

Centrales de Generación con capacidad menor a 0.5 MW [13]; así como por las actualizaciones que aplican [14].

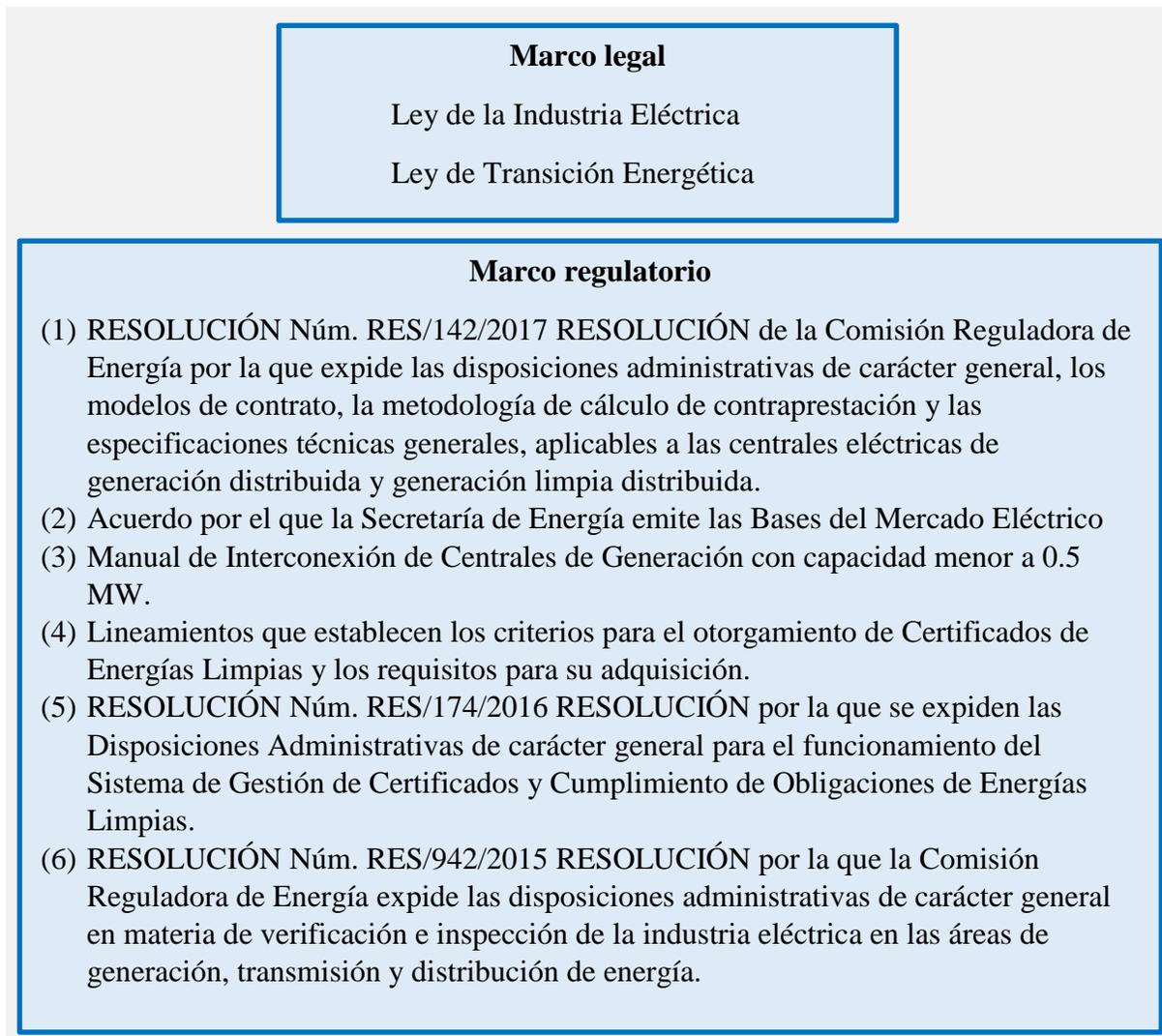


Fig. 1-1 Marco legal y regulatorio vigente que aplica a la GDFV.

Generación Distribuida y Generación Limpia Distribuida

La LIE define a la **Generación Distribuida (GD)**, como la generación de energía eléctrica que cumple con las siguientes características:

- (1) Se realiza por un **Generador Exento** en los términos de esta Ley, y
- (2) Se realiza en una **Central Eléctrica** que se encuentra interconectada a un circuito de distribución que contenga una alta concentración de centros de carga, en los términos de las reglas del mercado.

Los lineamientos que establecen los criterios para el otorgamiento de **CEL** establecen que la **Generación Limpia Distribuida (GLD)**² es la **GD** a partir de energías limpias.

Generador Exento

De acuerdo con la LIE, un **Generador Exento (GE)** es el **propietario** o poseedor de una o varias Centrales Eléctricas que no requieren ni cuenten con permiso para generar energía eléctrica en términos de esta Ley. El **GE** puede ser una persona física o moral, siendo también referido como **productor**.

Clasificación de la Generación Distribuida

En términos generales, la **GD** incluye sistemas de generación eléctrica a partir de diferentes fuentes de energía, entre ellas, la solar **fotovoltaica (FV)**.

Los sistemas de **GD** se agrupan de acuerdo con sus características eléctricas, tales como potencia, tensión y número de fases.

De acuerdo con el Capítulo 2 del *Manual de Interconexión de Centrales de Generación con capacidad menor a 0.5 MW* op. cit. [13], la **GD** se clasifica según el nivel de tensión como sigue:

- **Tipo BT.** Baja tensión³, donde se encuentran los sistemas monofásicos de hasta 30 kW y sistemas trifásicos con capacidades de hasta 50 kW.
- **Tipo MT1.** Media tensión⁴, que incluye sistemas trifásicos con capacidades menores o iguales que 250 kW.
- **Tipo MT2.** Media tensión, referida a los sistemas trifásicos con capacidades mayores que 250 kW, pero menores que 500 kW.

² Entiéndase como energías limpias: energías renovables (biomasa, eólica, solar y sus combinaciones) y energía del gas natural.

³ En este grupo se incluye a los sistemas con tensiones menores o iguales a 1 kV; aunque las tensiones de servicio típicas, en corriente alterna (c.a.), son de 127, 220 o 380 V.

⁴ Se refiere a sistemas con tensiones en c.a. bien establecidas y que, típicamente, van de 2.4 kV hasta 34.5 kV.

Generación Distribuida Fotovoltaica

La definición de **GD** que se adopta en este documento está alineada con la **LIE**, la **LTE** y el **Manual de Interconexión de Centrales de Generación con capacidad menor a 0.5 MW**. Bajo este contexto, la **GDFV** se refiere a la generación de energía eléctrica que:

- es realizada a partir de la conversión fotovoltaica (**FV**),
- no está sujeta a permisos de generación,
- se encuentra interconectada a un circuito de distribución que contiene una alta concentración de equipos e instalaciones dedicadas al suministro de energía eléctrica, y
- posee una capacidad menor que 0.5 MW o 500 kW.

La **GDFV** es sólo una parte de la industria fotovoltaica y, a su vez, de la industria eléctrica. Además, es una subclase de la modalidad de **GLD** ya que usa la energía del sol.

Sistemas Fotovoltaicos de Generación Distribuida

En esencia, los productos finales de este sector son los **Sistemas Fotovoltaicos (SFV)** con interconexión a la red general de distribución eléctrica, a los que se denomina en lo sucesivo como **Sistemas Fotovoltaicos de Generación Distribuida (SFV-GD)**.

Un **SFV-GD** es capaz de aprovechar la energía del sol para producir energía eléctrica en c.c. y acondicionarla en forma de c.a., para que pueda ser compatible con la red eléctrica y consumida por los usuarios, y se constituye básicamente por los módulos fotovoltaicos (**MFV**), y el **balance del sistema (BOS)**, por sus siglas en inglés).

El **BOS** incluye lo siguiente:

- equipo de acondicionamiento de potencia o **EAP** (inversores, micro-inversores y optimizadores),
- estructura para el montaje de los módulos,
- accesorios eléctricos (cajas de conexión, cajas de combinación, interruptores, dispositivos de protección, elementos de puesta a tierra, cableado y conectores),
- medidores, y
- equipo de monitoreo.

Como se ilustra en la **Fig. 1-2**, bajo el Marco Regulatorio vigente, el **SFV-GD** puede ser interconectado con la red de distribución de la **Comisión Federal de Electricidad (CFE)** bajo tres esquemas de contraprestación: medición neta, facturación neta y venta total.

Esquemas de contraprestación

Este tipo de sistemas gozan del beneficio de poder intercambiar energía con la red entregando los excedentes de la generación, o bien, de vender energía al **Suministrador de Servicios Básicos** (en adelante **SSB** o **Suministrador**), o directamente a un usuario final, según las regulaciones establecidas por la **Comisión Reguladora de Energía (CRE)** de nuestro País.

Para interconectar un SFV a la red de distribución se requiere que el **propietario** celebre un contrato de interconexión con el **Distribuidor** (a través del **Suministrador**), y un contrato de contraprestación con el **Suministrador**. Véase la RES/142/2017 de la **CRE** op. cit. [8].

Los esquemas de contraprestación vigente se ilustran en la **Fig. 1-2**, y se describen a continuación:

1. **Medición neta.** Para este esquema se instala un medidor bidireccional que mide la energía neta consumida, esto es, la energía consumida menos la entregada a la red durante el período⁵ de facturación. La contraprestación bajo el régimen de medición neta de energía se calcula de acuerdo con el nivel de tensión en el que se realice la interconexión de la Central Eléctrica, esto es, en baja tensión o en media tensión.
2. **Facturación neta.** Este esquema requiere de un sistema de medición capaz que asegure el registro independiente de la entrega y la recepción de energía.
 - a. La energía generada por el **SFV-GD** es pagada por el **Suministrador** al **Precio Marginal Local (PML)**.
 - b. La energía consumida de la red por el propietario del **SFV-GD** es cobrada por el **Suministrador** a la tarifa aplicable.
3. **Venta total de energía.** En este esquema no existe el consumo de la energía de la red de distribución. La energía generada por el **SFV-GD** es vendida al **Suministrador** al **PML**.

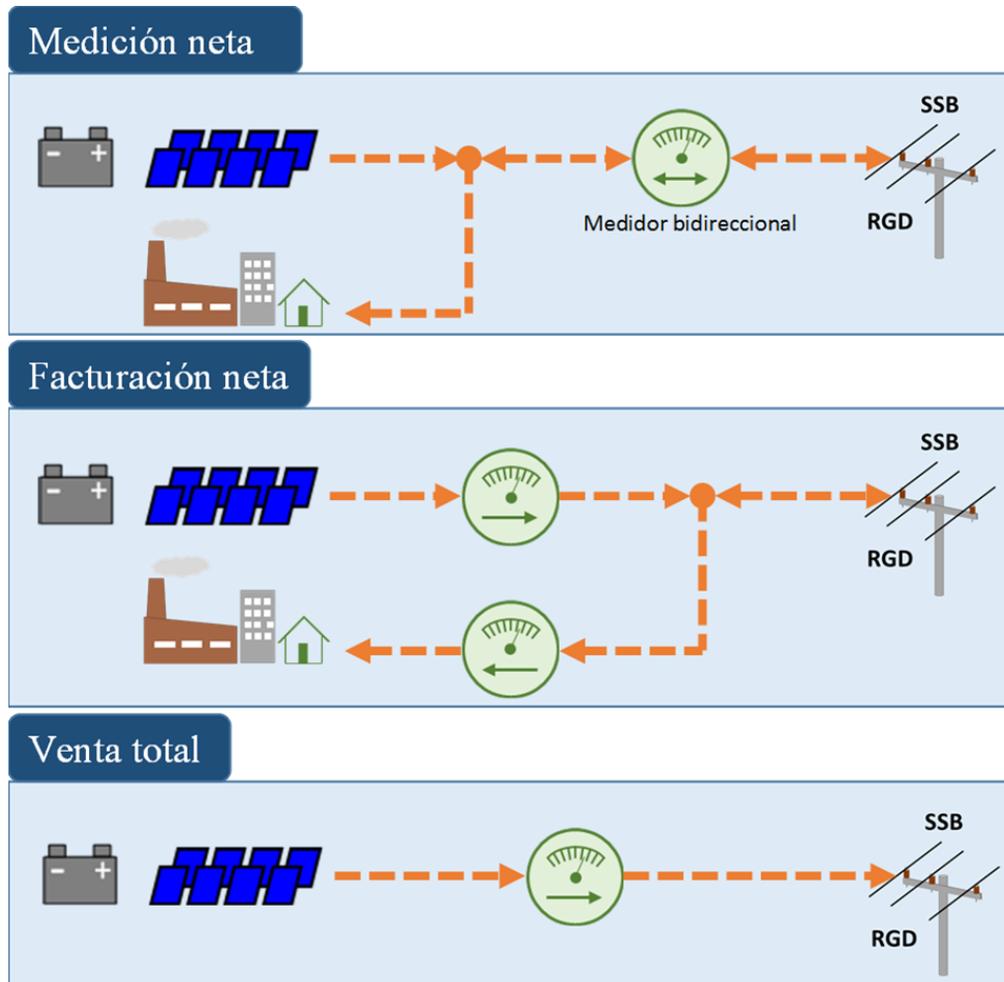
Las figuras que se ubican en los dos primeros esquemas de contraprestación suelen identificarse por el anglicismo “*prosumers*”, el cual denota la cualidad de ser productores de energía (*producers*) y al mismo tiempo consumidores (*consumers*).

Antes de la entrada en vigor de la **LIE** sólo se contaba con el primer esquema, pero ahora dos nuevas opciones están disponibles, incluso para quienes tienen contratos en el esquema de *net metering*. En general, una vez que un usuario comienza a operar en uno de estos esquemas, debe de transcurrir un año para que la **CRE** le permita migrar a otro esquema.

⁵ De acuerdo con las estipulaciones de servicio de CFE en su calidad de Suministrador, en la modalidad de Facturación Normal, esto es, con recibo impreso, la factura se emite y entrega bimestralmente. En la modalidad de Pago Programado con tarjeta inteligente, también denominada Facturación Punto de Venta, la factura se emite mensualmente, en donde se puede seleccionar el día de pago.

Hasta 2017, el 100% de los contratos de interconexión estuvo en el esquema de medición neta; sin embargo, al primer semestre de 2018 se habían firmado ya los tres primeros contratos de contraprestación en la modalidad de venta total de energía, según refiere una nota de la revista Manufactura [15].

Una de las razones por las que el esquema de contraprestación por venta total de energía no fue plenamente aprovechado tras su promulgación, está relacionada con el amparo que interpuso la CFE para este efecto. No obstante, en 2018 la propia CFE se desistió de dicho amparo [16].



Nota: En las disposiciones administrativas emitidas por la CRE op. cit. [8], se incluye la opción de incluir equipos de almacenamiento en conjunto con la Central Eléctrica. La capacidad del almacenamiento no se considera como capacidad adicional de la Central Eléctrica.

Fig. 1-2 Esquemas de contraprestación en generación distribuida.

1.3 Concepto de cadena de valor

El Gobierno Federal de México define el concepto de **cadena de valor** en el Artículo 3 Apartado II de la LTE op. cit. [17], que a la letra dice lo siguiente:

Cadenas de valor: El conjunto de actividades, tales como investigación y desarrollo, diseño, fabricación, ensamble, producción de partes, mercadeo, instalación, puesta en marcha, servicio y reciclaje, que un sector industrial realiza para entregar un bien.

El concepto de cadena de valor surgió en 1985 gracias a Michael Eugene Porter, en su libro *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance* [18]. La cadena de valor es una herramienta básica para examinar sistemáticamente todas las actividades que realiza una empresa y cómo interactúan; esto con el objetivo de analizar las fuentes de ventaja competitiva. Porter plantea que cada empresa se puede ver como un conjunto de actividades que se llevan a cabo para diseñar, producir, vender, enviar y dar soporte a un producto y que, además, todas estas actividades se pueden representar usando una cadena de valor.

Para efectos del presente trabajo, se reconocen ambas definiciones; no obstante, se adopta la definición establecida por la LTE.

Plantear una cadena de valor permite, en primera instancia, identificar las actividades que agregan valor a un producto o servicio. En segundo lugar, es posible analizar dichas actividades para mejorar la competitividad; de acuerdo con Porter, esto se puede realizar desde dos enfoques: costos y diferenciación. Básicamente, una ventaja de costo consiste en mejorar los costos de las actividades internas; es decir, producir a bajo costo. Por su parte, una ventaja de diferenciación se refiere a ofrecer productos superiores a la competencia, en términos de calidad o funcionalidad, por ejemplo. Así, la cadena de valor divide una empresa en sus actividades más relevantes para entender el comportamiento de los costos y las fuentes, existentes y potenciales, de diferenciación.

Según la concepción original de Porter, la cadena de valor de una empresa consta de: 1) actividades primarias, que involucran la logística de entrada, las operaciones de transformación, la logística de salida, el mercadeo y las ventas y los servicios post-venta, 2) actividades de soporte, relacionadas con la infraestructura, la gestión de los recursos humanos, las adquisiciones y el desarrollo de tecnología.

Una cadena de valor describe el conjunto de actividades que constituyen el ciclo de vida de un producto (bien, idea o servicio). Estas actividades incluyen el desarrollo de las tecnologías incorporadas, el diseño del producto, su manufactura, la entrega al cliente final y la disposición que de éste se haga al final de su vida útil. [19]

El mapa de la cadena de valor debe identificar claramente los actores y las actividades en cada segmento de creación de valor para conseguir la articulación efectiva desde las entradas hasta el usuario final, como se plantea en [20].

Por otro lado, Messerschmitt y Szyperski [21], consideran que la cadena de valor se puede dividir en actividades para los requerimientos y actividades para el suministro. En el primer grupo se encuentra el análisis de las necesidades del cliente y el diseño de la solución (producto o servicio). En el segundo grupo se destacan las actividades de proveeduría, operación y uso final.

De acuerdo con Chang [22], si se dividiera la cadena de valor de la industria en las actividades corriente arriba y las de corriente abajo, se diría que la segunda parte es donde ocurre un incremento sustancial de valor. Es decir, se hace uso del producto o servicio obtenido de la primera parte de la cadena y luego sirve para abastecer clientes intermedios, en la segunda parte, donde se le agrega valor para ser ofrecido al cliente o usuario final.

En esencia, la cadena de valor involucra las actividades que se requieren para llevar un producto o servicio desde su concepción, pasando por las debidas etapas de producción, hasta su entrega al cliente y la disposición final posterior a su uso [23].

A pesar de que la cadena de valor sugiere una secuencia bien ordenada, de acuerdo con Ensign [24], se puede adoptar un esquema de capas que se traslapan entre sí, sin necesidad de hacer una estricta separación actividades.

No obstante, la cadena de valor de una industria o un sector de ella, que involucra a más de una empresa, resulta en un conjunto amplio de cadenas de valor. De acuerdo con [25], la cadena de valor de una industria se refiere a una mezcla de las cadenas de valor de las empresas involucradas.

En este sentido, Papazoglou, et. al. [26], proponen el enfoque de sistema de valor integrado donde varias empresas convergen en un sector del mercado para llevar a cabo, de manera conjunta, actividades que incrementan el valor percibido por el cliente y optimizan la eficiencia de la cadena de valor. Este enfoque también es apoyado por Norman y Ramírez [27].

Para vislumbrar la cadena de valor, Tyrväinen propone una trayectoria en “U” que inicia con la identificación de oportunidades basada en las necesidades del cliente final, continúa con las actividades de desarrollo y finaliza con la entrega del producto o servicio [28]. Esto lo traslada a la industria del *software*.

Por su parte, otros investigadores [29] desarrollaron un enfoque de red de valor basado en el establecimiento de conexiones entre empresas en todos los sentidos, revolucionando el modelo tradicional propuesto por Michael Porter.

Según indican Rocheska et. al. [20], el esquema de la cadena de valor depende del tipo de empresa o industria que se trate. Además, de acuerdo con Schief [30], en muchos casos se usa un juicio particular, debido a que una actividad que agrega valor se puede enriquecer, dividiéndola en más actividades, o condensar, al agrupar cierto número de actividades.

1.4 Avance de la generación distribuida fotovoltaica en México

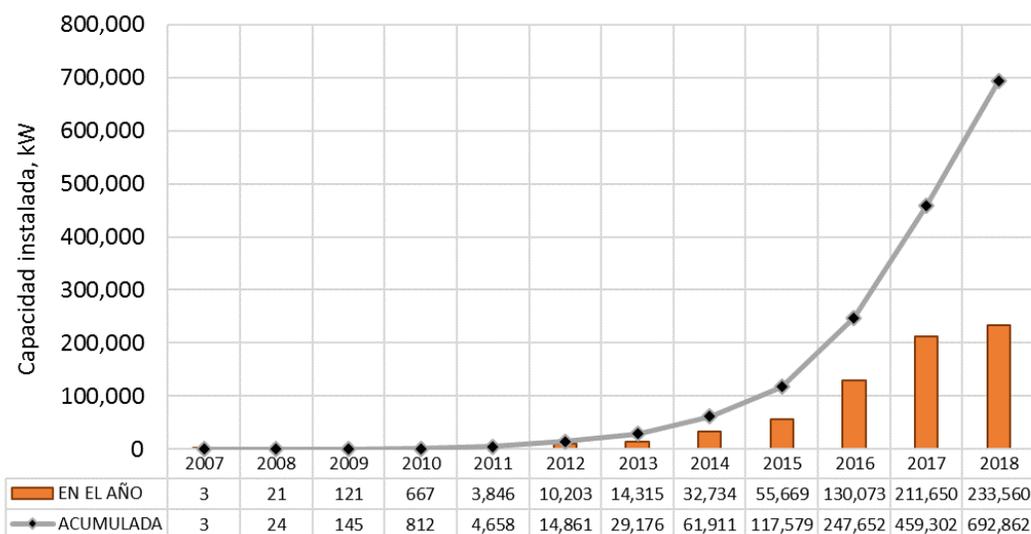
En la búsqueda de impulsar el aprovechamiento de las fuentes de energías limpias, México se ha comprometido a incrementar la participación de aquéllas en la generación de la energía eléctrica nacional.

Entre las metas que se establecieron con la **LTE**, en el transitorio tercero se destaca la de alcanzar un nivel de participación mínima de energías limpias del 35% para 2024. Para alcanzar esta meta, se ha establecido que aquella participación alcance el 25% en 2018 y el 30% en 2021.

Como reporta la **SENER** [31]:

- durante 2017, el 36% de las nuevas inversiones realizadas en Latinoamérica para el desarrollo de proyectos de energías renovables se realizó en México, colocando a nuestro País en el lugar 12 del Índice Atractivo-País para Energías Renovables de Ernst & Young Global Limited [32] y en el lugar 10 entre los Países Líderes en Nuevas Inversiones del New Energy Finance de Bloomberg [33];
- al cierre del primer semestre de 2018, la generación por fuentes limpias alcanzó 24.12% (40,499.01 GWh), menos de un punto porcentual por debajo de la meta del 25% de generación de energía limpia establecida para México en este año;
- las tecnologías que mayor crecimiento presentaron fueron la **FV**, la eólica y la cogeneración eficiente contribuyendo a que la capacidad instalada por fuentes limpias se incrementara 11.84% (2,550.41 MW) y la generación en 21.71% con respecto al primer semestre del 2017;
- las Subastas de Largo Plazo han demostrado ser un mecanismo exitoso para fomentar el desarrollo de proyectos de energías limpias. Con la realización de las tres primeras Subastas de Largo Plazo se comprometió la instalación de más de 7,000 MW que se espera atraigan una inversión estimada de 8,600 millones de dólares;
- durante los primeros seis meses de 2018 entraron en operación las primeras fases de seis de los proyectos ganadores de las subastas (cinco de la primera y uno de la segunda) con una capacidad total de 1,442.5 MW, de los cuales cuatro son **FV** (1,274.5 MW) y dos eólicos (168 MW);
- al cierre del primer semestre de 2018, la capacidad instalada de energía **FV** alcanzó los 1,646.55 MW (casi tres veces la capacidad instalada al cierre del primer semestre de 2017), siendo la tecnología limpia que mayor crecimiento ha tenido en el último año tanto por la instalación de proyectos a gran escala, como por proyectos de **GD**.

La **CRE**, con datos registrados por la CFE, ofrece información sobre la instalación de centrales de **GLD** desde el 2007 en el País, incluyendo tecnologías tales como solar, eólica, biomasa, biogás y solar-eólica. En la **Fig. 1-3** se ilustra la expansión de la **GLD** en términos de la capacidad instalada por año (bloques naranjas) y la capacidad acumulada de manera histórica (línea con rombos), hasta diciembre de 2018. Como se puede apreciar, la capacidad instalada ha ido siempre en aumento, con una pendiente muy pronunciada en los últimos cinco años.



*La información de 2017 y 2018 corresponde a la estadística presentada por la CRE "Evolución de Contratos de Pequeña y Mediana Escala / Generación Distribuida - Marzo 2019". Los datos difieren de lo reportado en Estadísticas de Centrales Eléctricas de Generación Distribuida de la CRE hasta 2017; se han reportado valores de capacidad instalada para este año de 186,291 kW, y acumulada de 434,018 kW como cifras preliminares con fecha de corte al 31 de diciembre de 2017.

Fig. 1-3 Expansión de la Generación Limpia Distribuida en México.

Fuente de datos: [34] [35].

En la **Fig. 1-4** se ilustra la expansión de la **GDFV** en el período 2014-2018, la cual es prácticamente la misma que la participación de la **GLD**; esto se debe a que la tecnología solar **FV** presenta una penetración dominante (97% en 2015 y 98% de 2016 en adelante).

En la **Fig. 1-5** se muestra el crecimiento de la capacidad acumulada en **GDFV** desglosada en tres rangos de capacidades: hasta 10 kW, hasta 30 kW y de 30 kW a menos de 500 kW. En ella es posible apreciar que los **SFV-GD** clasificados de hasta 10 kW y de más de 30 kW a 500 kW poseen los mayores porcentajes de penetración. Dentro de lo que la **CRE** denomina pequeña escala, la capacidad de los **SFV-GD** de hasta 10 kW es mayor sobre los **SFV-GD** de hasta 30 kW. Para traducir esta información, durante el 2016 por ejemplo, **la participación de estas escalas se distribuyó como sigue: 38% para SFV-GD de hasta 10 kW, 13% para SFV-GD de hasta 30 kW y 49% para SFV-GD con capacidades de entre 30 kW y 500 kW.** Esto sugiere destacar dos grupos de **SFV-GD** que han tenido mayor relevancia en este sector de la industria **FV**: los de capacidad de hasta 10 kW y los que se encuentran en el rango de 30 a menos de 500 kW.

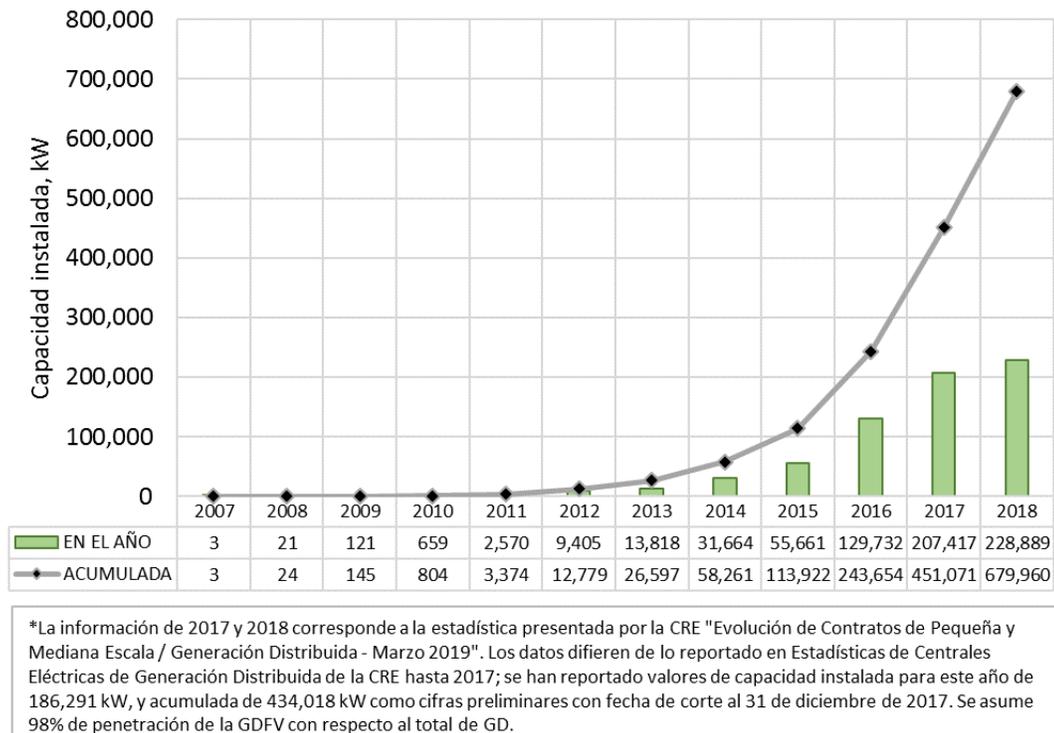


Fig. 1-4 Expansión de la generación distribuida fotovoltaica 2014-2018.

Fuente de datos: [34] [35].

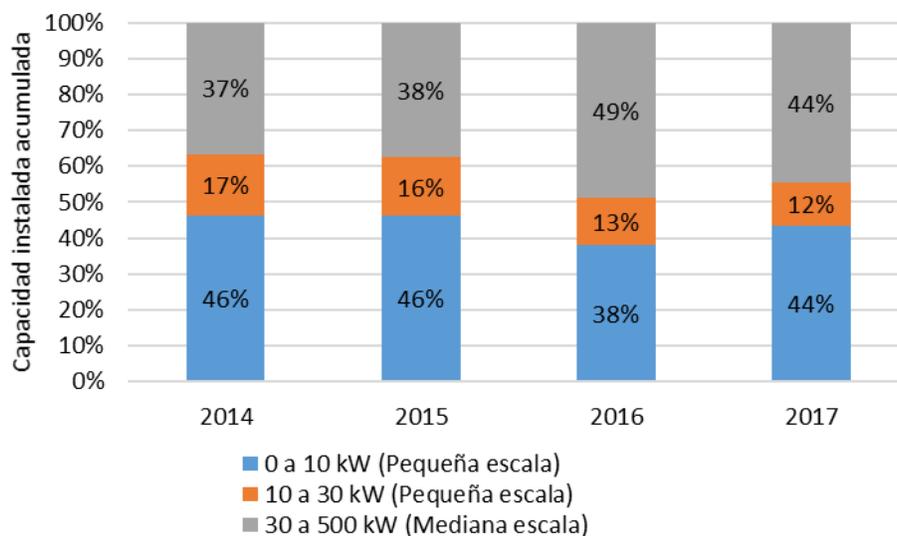


Fig. 1-5 Penetración por escala de los sistemas de la generación distribuida fotovoltaica en México.

Fuente de datos: [34].

También es importante ponderar el avance de las entidades federativas del País en **GDFV**; sin embargo, al momento de cerrar esta edición no se contaba con la estadística correspondiente hasta 2018. Al respecto, y considerando que la participación **GDFV** representa un porcentaje mayoritario de la capacidad registrada en **GD** (muy cercano al 100%), se presentan los datos que ha reportado la **CRE** para **GD**, lo que se ilustra en la **Fig. 1-6**.

Como se pueden observar, las cuatro entidades con mayor capacidad instalada en **GD** fueron Nuevo León (91.3 MW), Jalisco (88.9 MW), Estado de México (74.8 MW) y la Ciudad de México (64.7 MW), sumando en su conjunto 320 MW lo que representa más del 46% del total nacional. En un segundo plano de avance, se pueden ubicar a Chihuahua (38.5 MW), Michoacán (27.6 MW), Sonora (26.6 MW), Guanajuato (25.5 MW), Yucatán (25.2 MW), Coahuila (23.3 MW) y Baja California Sur (20.9 MW), sumando 187.5 MW. Un tercer grupo de 10 entidades reporta instalaciones entre 10 y 20 MW que suman 129 MW. Las once entidades restantes se ubican de manera individual por debajo de los 10 MW, aportando en su conjunto 56.7 MW; en este último grupo resalta por su avance marginal el Estado de Tlaxcala con menos de 1 MW instalado.

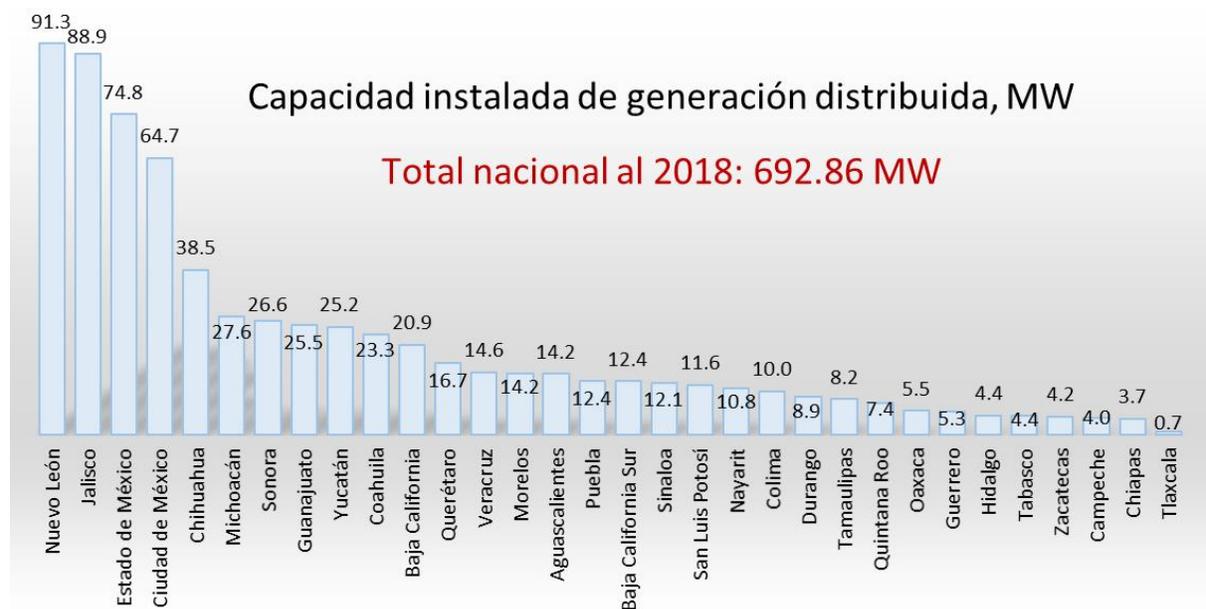
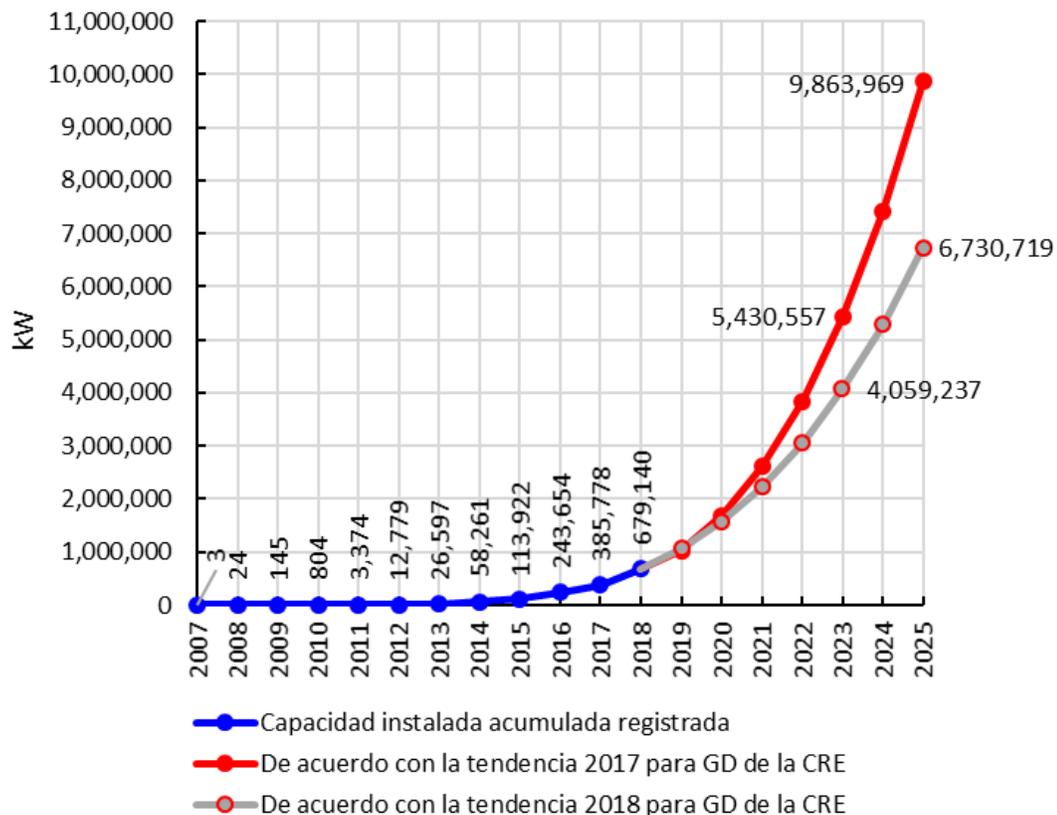


Fig. 1-6 Capacidad instalada de generación distribuida en México al 2018.

Fuente de datos: [35].

1.5 Escenarios de crecimiento de la generación distribuida fotovoltaica en México

Desde el establecimiento del marco regulatorio de la **GD** en México, en 2007, la capacidad instalada acumulada de esta alternativa de suministro eléctrico ha crecido de manera persistente, inicialmente con tasas anuales de tres dígitos en los años 2007-2014 y 2016, y de dos dígitos en 2015, 2017 y 2018. Derivado de esta evolución, la **CRE** ha elaborado proyecciones de crecimiento de la capacidad instalada acumulada en **GD**, con actualizaciones anuales de la tendencia observada [35]. Tomando como base las tendencias 2017 y 2018 con proyección al 2023, así como las estadísticas disponibles (hasta 2017) [34], se han derivado proyecciones de crecimiento de la **GDFV**, como se muestra en la **Fig. 1-7**.



Suposiciones: Escenarios de acuerdo con las tendencias 2017 (Sem1) y 2018 presentadas por la CRE en el documento "Evolución de Contratos de Pequeña y Mediana Escala / Generación Distribuida" Marzo 2019. El valor de la capacidad acumulada de GDFV para 2018 se estimó equivalente al 98% del valor de 693 MW para GD que se reporta.

Fig. 1-7 Escenarios de crecimiento de la generación distribuida fotovoltaica en México, en términos de la capacidad acumulada.

Fuente de datos: [34] [35].

De acuerdo con la tendencia 2017, para 2023 la capacidad instalada acumulada alcanzaría los 5,400,000 kW (5.4 GW); y para 2025, se aproximaría a los 10,000,000 kW (10 GW). La tendencia 2018 indica una desaceleración en la instalación de nuevos sistemas, proyectándose para 2023 un valor de la capacidad instalada acumulada superior a los 4,000,000 kW (4 GW), y para 2025, cercano a los 7,000,000 kW (7 GW).

Existen otras proyecciones que han pronosticado menores o mayores niveles de crecimiento, como se presenta en la Prospectiva de Energías Renovables 2016-2030 de la **SENER** [36], en la que se refieren las proyecciones de la propia **SENER** con 2.279 GW al 2028, así como las de **IRENA** y **Bloomberg New Energy Finance (BNEF)** al 2030, con 11.3 GW y 19.78 GW, respectivamente. De acuerdo con el informe anual *New Energy Outlook 2018* de **BNEF**, para 2050 los **SFV-GD** residenciales y comerciales en México serán la fuente dominante de energía eléctrica, alcanzando una participación del 30% de la capacidad total [37].

El cumplimiento de uno u otro escenario de crecimiento de la **GDFV** depende de diversos factores, incluyendo la tecnología, el mercado y la política pública. En este último sentido, **NREL** emitió en 2018 un reporte técnico relativo al estatus y panorama de la política pública sobre **GD** en México [38]. En su reporte **NREL** describe la estructura de la política pública mexicana actual en torno a la **GD**, e identifica barreras y sugiere medidas que pueden incentivar su crecimiento. Algunos de los lineamientos presentados en dicho reporte son los siguientes:

- Establecimiento de tarifas de compensación suficiente para propietarios de **GD**.
- Establecimiento de incentivos financieros directos basados en la inversión, capacidad o producción, con recursos provenientes de mecanismos fiscales o fondos públicos.
- Expandir el acceso a financiamiento de la **GD** con préstamos de bajo interés ofrecidos por la banca tradicional, los bancos verdes, los gobiernos, e inclusive los desarrolladores integrados verticalmente, o bien, mediante mecanismos innovadores que están siendo introducidos en países líderes en este ámbito.
- Incrementar las opciones de acceso de usuarios a **GD**, como son, comunidades o granjas solares y la medición neta virtual.
- Incentivar la maduración y calidad de instaladores, materiales y mano de obra.
- Establecer mejores prácticas en los procesos de interconexión incorporando, por ejemplo, trámites expeditos, seguimiento de solicitudes, consulta de viabilidad de interconexión en línea y conformación de bases de datos.
- Promover que el contenido de los sistemas sea manufacturado localmente.
- Promover la concientización pública sobre las opciones de **GD**.
- Promover la **GD** en usuarios con tarifa subsidiada.
- Establecer un rol claramente definido de **CFE** con respecto a la **GD**.

2 Mapeo de la cadena de valor

La industria **FV** representa una vertiente de la industria de energías renovables que, a su vez, puede ser acotada al ámbito de la **GDFV** como se presenta en esta sección.

2.1 Cadenas de valor corriente arriba y corriente abajo

Existen distintos enfoques gráficos y conceptuales para visualizar de manera genérica la cadena de valor de la **GDFV**.

En lo que respecta a la industria **FV** en general, es común que gran parte de estos enfoques se concentren únicamente en la producción de **MFV**, debido a que éstos son elementos determinantes en términos de costo y desarrollo tecnológico. No obstante, existen otros elementos que constituyen cadenas de valor en sí mismos, incluyendo otros insumos y servicios.

La estructuración de una cadena de valor para una empresa o segmento de negocio depende del grado de integración que se posea. Esto es, en el caso de una empresa integrada verticalmente se cubren todos los segmentos posibles del negocio, en un sentido hacia las materias primas y en otro hacia el consumidor o usuario. En el caso de una empresa integrada horizontalmente, se fusionan empresas similares para expandir el negocio.

Un panorama general de la industria **FV** permite identificar dos tipos de cadenas de valor en torno a la **GDFV**, como se esquematiza en la **Fig. 2-1**, y se desglosa en la **Tabla 2-1** de manera no exhaustiva para el contexto de México. Las cadenas de valor de los proveedores de insumos se consideran corriente arriba y están vinculadas a un mercado de materiales, en tanto que la cadena de valor de los proyectos, a partir de su gestación, incluye al conjunto de procesos corriente arriba vinculados a un mercado de servicios. En ocasiones se suele denominar a las cadenas de valor de los insumos como cadena de suministro para efectos de un proyecto.

Se consideran diversas actividades principales de interés relativas al ciclo de vida de los proyectos, marcando su gestación como punto de origen. En cada etapa del ciclo de vida intervienen organizaciones, recursos humanos y mecanismos que aportan valor.

Como procesos corriente-arriba se consideran:

- Actividades de I+D+i;
- Producción de materias primas, incluyendo minería, extracción y procesamiento;
- Producción de manufacturas, incluyendo partes, ensambles y conjuntos;
- Calidad de la producción, incluyendo ensayos, validación, inspección y control; y
- Distribución, incluyendo comercialización, logística y transporte.

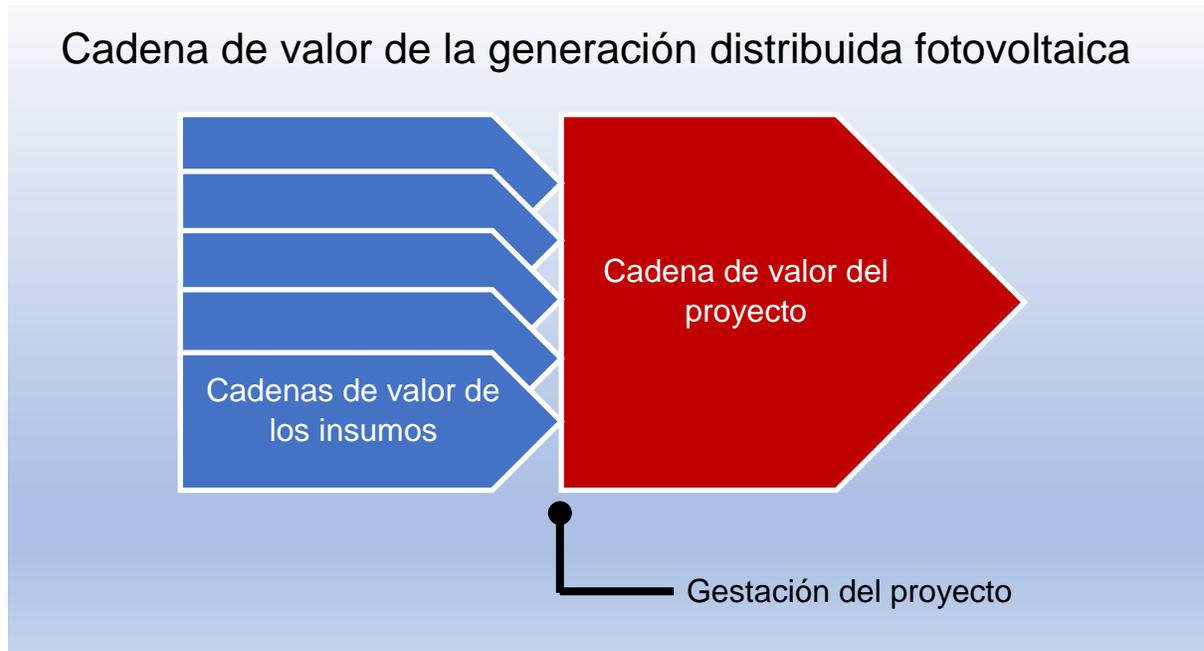


Fig. 2-1 Cadena de valor de la generación distribuida fotovoltaica.

Como procesos corriente-abajo se consideran:

- Implementación de proyectos, incluyendo gestión, ejecución, operación y retiro.

Es de interés observar que en general la implementación de proyectos de **GDFV** constituyen un área de negocio de integración vertical. Es decir, típicamente una empresa integradora retiene todas las acciones de valor que se requieren para la implementación de los proyectos, desde la venta técnica, pasando por la ejecución del proyecto y culminando con la oferta de servicios de operación y mantenimiento de las plantas instaladas.

La **GDFV** constituye un sector de la economía que tiene el potencial de aportar valor sustancial en múltiples áreas de la vida económica del País. La vertiente de I+D+i a nivel pre-mercado constituye un nicho de gran dinamismo para los recursos de alta especialidad. La industria de manufacturas es incipiente, sin embargo, puede evolucionar a otras escalas si se diversifica. Los servicios requeridos para la implementación de proyectos, por su parte, demandan una gran diversidad de actores no sólo para la instalación de una planta, sino también para todo aquello que hacen posible su continuidad y eventual retiro.

Tabla 2-1 Cadena de valor de la generación distribuida fotovoltaica en México.

(Información no exhaustiva)

Conceptos generales		Cadenas de valor de insumos: Procesos corriente arriba					Cadena de valor del proyecto: Procesos corriente abajo					
		Pre-mercado	Mercado de materiales				Mercado de servicios					
		Investigación e innovación	Producción de materias primas (no exhaustiva)		Producción de manufacturas (no exhaustiva)		Calidad / Distribución	Implementación de proyectos				
		I+D+i	Minería / Extracción	Procesamiento	Partes / Accesorios	Ensamblajes / conjuntos	Insumos para proyectos	Gestión	Ejecución	Operación	Retiro	
1	Ciclo de vida	Módulos fotovoltaicos	<ul style="list-style-type: none"> Celdas y módulos FV 	<ul style="list-style-type: none"> Grava de cuarcita* Minerales de cobre, zinc, plomo y plata 	<ul style="list-style-type: none"> Polisilicio* Telurio*, cadmio, indio*, galio* Productos químicos y gases a granel Pasta de plata* 	<ul style="list-style-type: none"> Obleas* Celdas* Vidrio solar* Marcos de módulos Cable FV, cajas de conexión, conectores* 	<ul style="list-style-type: none"> Módulos FV 	<ul style="list-style-type: none"> Ensayos y validación Inspección y control Certificación y auditoría 	<ul style="list-style-type: none"> Asesoría técnica-comercial (venta técnica) Planeación Estudio financiero Gestoría Administración Ingeniería 	<ul style="list-style-type: none"> Financiamiento Procura Aseguramiento de calidad Construcción / instalación Supervisión Puesta en marcha Pruebas Verificación 	<ul style="list-style-type: none"> Mantenimiento Medición Monitoreo Servicios de TI Evaluación del desempeño Comercialización de energía Acreditación de CEL 	<ul style="list-style-type: none"> Desmantelamiento Reciclaje Gestión de residuos no reciclables (disposición final)
		Balance del sistema	<ul style="list-style-type: none"> Inversores Componentes eléctricos y mecánicos 	<ul style="list-style-type: none"> Minerales ferrosos y no ferrosos Petróleo 	<ul style="list-style-type: none"> Metales ferrosos y no ferrosos a granel Productos químicos y gases a granel 	<ul style="list-style-type: none"> Cables, conectores cajas combinadoras, interruptores, protecciones 	<ul style="list-style-type: none"> Inversores Estructuras Medidores Eq. de monit. 	<ul style="list-style-type: none"> Logística y transporte Gestión aduanera 	*No existe producción nacional de este tipo de productos en la actualidad			
2	Organizaciones involucradas	<ul style="list-style-type: none"> Universidades Centros de investigación Laboratorios de pruebas 	<ul style="list-style-type: none"> Empresas mineras 	<ul style="list-style-type: none"> Fabricantes de polisilicio** Empresas metalúrgicas Fabricantes de productos químicos 	<ul style="list-style-type: none"> Fabricantes de obleas y celdas** Fabricantes de cables y componentes eléctricos y electrón. Fabricantes de vidrio solar Fabricantes de estructuras 	<ul style="list-style-type: none"> Fabricantes de módulos e inversores Fabricantes de estructuras Fabricantes de dispositivos eléctricos y electrónicos 	<ul style="list-style-type: none"> Comercializadores mayoristas y minoristas Empresas de logística y transp. Agencias aduanales Laboratorios de pruebas 	<ul style="list-style-type: none"> Desarrolladores inmobiliarios Integradores (EPC) Consultoras Intermediarios financieros locales (bancarios y no bancarios) 	<ul style="list-style-type: none"> Bancos / intermediarios financieros Integradores / instaladores (EPC) Unidades de verificación Aseguradoras 	<ul style="list-style-type: none"> Integradores / instaladores (EPC) Unidades de verificación/insp. Empresas comercializadoras de energía Empresas suministradoras 	<ul style="list-style-type: none"> Empresas desmanteladoras Empresas de reciclaje 	
		**No presentes en el ámbito nacional en la actualidad										
3	Recursos humanos involucrados	<ul style="list-style-type: none"> Investigadores 	<ul style="list-style-type: none"> Ingenieros mineros Geólogos 	<ul style="list-style-type: none"> Ingenieros metalúrgicos Ingenieros químicos 	<ul style="list-style-type: none"> Ingenieros y técnicos especializados en manufactura FV y de equipo eléctrico Técnicos en producción Técnicos en mantenimiento 	<ul style="list-style-type: none"> Ingenieros y técnicos para manufactura FV y de equipo eléctrico Técnicos en producción Técnicos en mantenimiento 	<ul style="list-style-type: none"> Mercadólogos Vendedores técnicos Ingenieros en logística y transporte Agentes aduanales Choféres Almacenistas 	<ul style="list-style-type: none"> Vendedores técnicos/gestores Tecnólogos Ingenieros para diseño FV Arquitectos Meteorólogos Analistas financieros 	<ul style="list-style-type: none"> Instaladores FV⁴ Ingenieros eléctricos y electrónicos Verificadores eléctricos Trabajadores de la construcción 	<ul style="list-style-type: none"> Instaladores de sistemas FV Ingenieros eléctricos y electrónicos 	<ul style="list-style-type: none"> Ingenieros ambientales Ingenieros de procesos Ingenieros de químicos Trabajadores para desmantelamiento y reciclaje 	
		Posgrados / Educación superior / Educación técnica y técnica-superior / Adiestramiento y capacitación / ⁴ Certificación por competencias										
4	Sector	Servicios educ. y de I+D+i	Minería	Industrias manufactureras: Industria Manufacturera, Maquiladora y de Servicios de Exportación (IMMEX)			Comercio (mayoreo y menudeo)	Servicios profesionales y técnicos / Servicios financieros y de seguros				
5	Actividad económica (agrupación tradicional)	Actividades terciarias	Actividades secundarias				Actividades terciarias	Actividades terciarias				
6	Financiamiento y garantías	Fondos CONACYT-SENER / Sust. En.	FIFOMI		Fideicomiso Público para Promover el Desarrollo de Proveedores y Contratistas Nacionales de la Industria Energética			Financiamientos diversos para usuarios residenciales y MiPyMES: p. ej. fideicomisos, banca, renta (leasing)			Banca de Desarrollo	
			Banca de Desarrollo (Parques Tecnológicos, Comercio Exterior)									
7	Legislación, regulación y normatividad	Ley de Ciencia y Tecnología	Ley minera / Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente / NOM-120-SEMARNAT		Decreto IMMEX			Ley de la Industria Eléctrica, Ley de Transición Energética y Marco Regulatorio (Manual de Interconexión y Disp. Administrativas)			Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos	
			Normatividad internacional y nacional: Normas IEC y NMX equivalentes, Normas UL, NOM-001-SEDE									

2.2 Cadena de valor del proyecto

La cadena de valor de los proyectos de **GDFV** involucra tanto a las **acciones de valor** como a los **actores** que las ejecutan, como se ilustra en la **Fig. 2-2**.

Los servicios requeridos en cada eslabón, desde la gestación hasta el retiro, se constituyen como **acciones de valor** que incluyen la venta técnica, la gestión financiera, la ingeniería del proyecto, la procura de componentes, la instalación del sistema, la interconexión con la red de distribución, la operación, el mantenimiento, así como el retiro, considerando el desmantelamiento, el reciclaje y la disposición final de residuos no reciclables.

En otro sentido, se pueden identificar a los **actores** que intervienen para poder implementar un proyecto como se describe a continuación.

El **propietario** es el promovente del proyecto, y como se refirió en la **Sección 1.2**, se le cataloga en términos de la **LIE** como **Generador Exento (GE)** pudiendo ser persona física o moral, y en su caso, usuario o no usuario.

El **desarrollador o integrador del proyecto**, en muchas ocasiones también identificado como el **instalador**, es quien hace realidad el proyecto, pudiendo abarcar todas o parte de las acciones necesarias para su logro –gestación del proyecto, gestión financiera, ingeniería, procura y construcción de la planta, gestión de la interconexión y la operación. Al respecto, se hacen las siguientes consideraciones:

- Algunas de estas acciones pudiesen ser provistas mediante terceros, como pudiesen ser gestores, comisionistas, subcontratistas o contratistas independientes. Por ejemplo, durante la gestación del proyecto puede recurrirse a asesores externos a la empresa integradora que se especialicen en la venta técnica, así como a gestores o comisionistas financieros aliados con la banca.
- En la etapa de desarrollo del proyecto, se requieren proveedores de servicios técnicos, como es el caso de aplicaciones de gran escala, en donde es común el subcontratar la ingeniería, procura y construcción. Es probable que eventualmente esta práctica pueda ser adoptada con más frecuencia en proyectos de **GD** de escala comercial, lo cual favorece el aprovechamiento de profesionales independientes, empresas especializadas y recursos humanos locales.

Quienes aportan los recursos financieros para solventar el proyecto son, fundamentalmente, el **propietario**, en su calidad de inversionista, así como las diversas entidades que posibilitan el financiamiento externo.

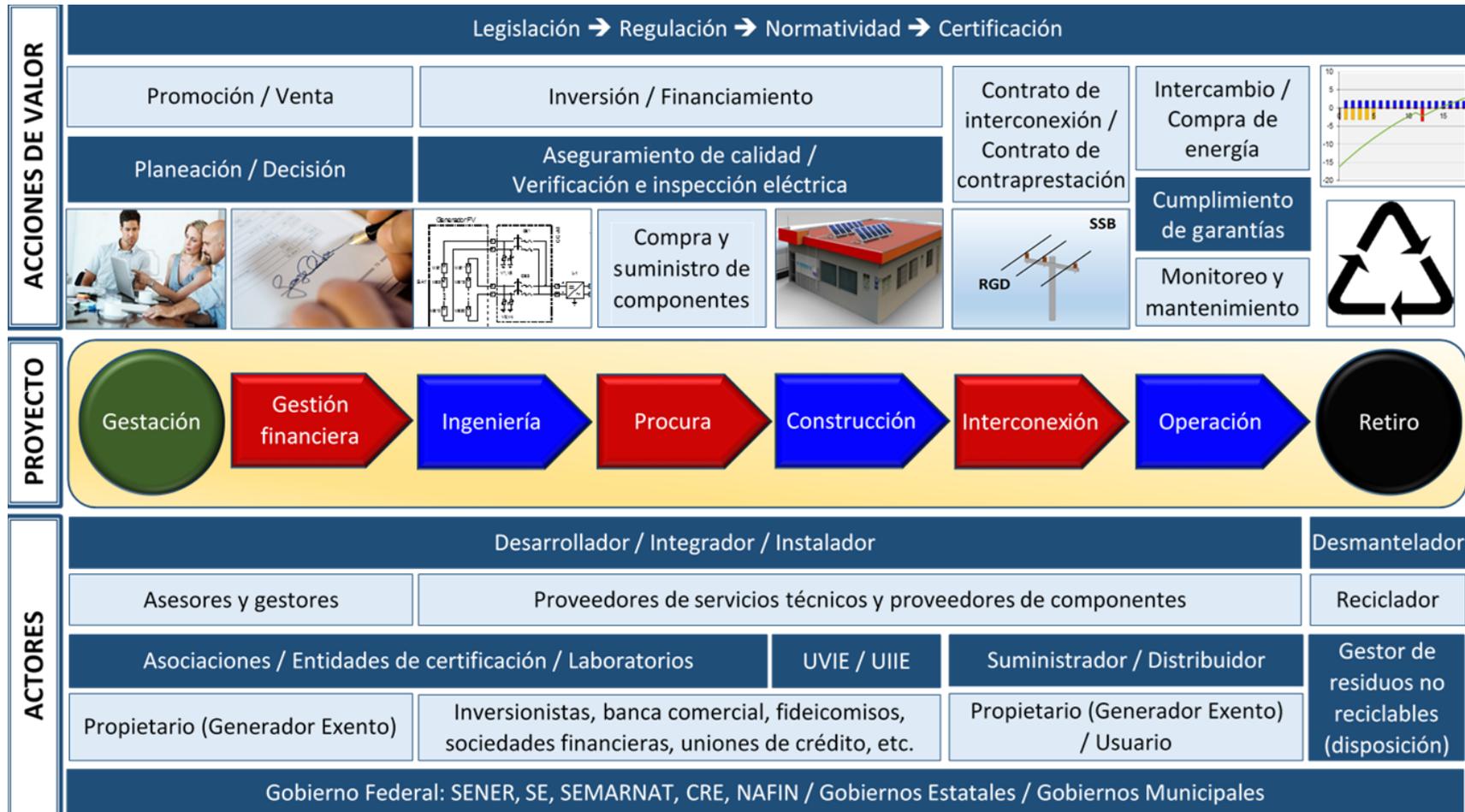


Fig. 2-2 Acciones de valor y actores en la cadena de valor de proyectos de generación distribuida fotovoltaica.

Entidades que posibilitan el financiamiento externo de los proyectos incluyen las siguientes:

- Los **Intermediarios Financieros Bancarios (IFB's)**, esto es, los bancos de primer piso que atiende los nichos de medianas y grandes empresas formales, así como parte del sector residencial y del sector público.
- Los **Intermediarios Financieros No Bancarios (IFNB's)**, que atienden principalmente los nichos de micro, pequeña y mediana empresa (MiPyME), como son las Sociedades Financieras de Objeto Limitado (SOFOLes), las Sociedades Financieras de Objeto Múltiple (SOFOMes), las Sociedades Financieras Populares (SOFIPOS), las Uniones de Crédito, las Cajas y Cooperativas, las Empresas de Factoraje Financiero o las Arrendadoras [39].
- La **Banca de Desarrollo**, NAFIN, por ejemplo, atiende a las (MiPyME's), con fondos de garantías crediticias.
- Los **Fideicomisos** privados o públicos, aportan financiamiento, e inclusive incentivos a fondo perdido, según sea el caso, tanto a personas físicas como a personas morales.

El **proveedor** o **distribuidor de componentes** es el elemento que cierra las cadenas de valor de los insumos y alimenta la cadena de valor de los proyectos.

El **distribuidor**, esto es, la **CFE**, tiene por objeto prestar en términos de la legislación aplicable, el servicio público de transmisión y distribución de energía eléctrica, por cuenta y orden del Estado Mexicano [40]. Entre el **distribuidor** y el **propietario** se celebra el contrato de interconexión a las Redes Generales de Distribución.

El **suministrador** de energía eléctrica es, en el contexto de la **LIE** y del marco regulatorio nacional, el comercializador titular de un permiso para ofrecer el Suministro Eléctrico en la modalidad de **Suministrador de Servicios Básicos (SSB)**, Suministrador de Servicios Calificados o Suministrador de Último Recurso, y que puede representar en el Mercado Eléctrico Mayorista a los Generadores Exentos. Entre el **suministrador** y el **propietario** se celebra un contrato de contraprestación por la entrega de energía a la red de distribución.

Quienes participan en el retiro de la planta, incluyen:

- El **desmantelador** se ocupa de desensamblar la planta y entregar los materiales residuales al reciclador.
- El **reciclador** es el elemento que retorna el valor intrínseco de los materiales a la cadena productiva de la sociedad en lo general, pero que, en lo particular, bien puede ser directamente a la cadena de suministro de materiales de la industria fotovoltaica.
- El **gestor de residuos no reciclables**, por su parte, complementa las acciones de retiro de la planta al participar en la disposición de aquellos residuos que no pueden ser reciclados, ya sea por la complejidad técnica, elevado costo o inclusive por la toxicidad de los materiales en cuestión.

3 Segmentos de valor

3.1 Investigación, desarrollo e innovación

El desarrollo tecnológico y la innovación se gestan en los centros de investigación tanto del sector público como del sector privado. En México, desde la década de los 70's se ha venido realizando investigación en el ámbito académico para el desarrollo de celdas fotovoltaicas [41] [42]. En la actualidad, el número de instituciones mexicanas que se han involucrado en este quehacer ha crecido sustancialmente, como se presenta en la **Tabla 3-1**; lo que en años recientes se incentivó gracias a recursos provenientes del gobierno federal.

Los trabajos de I+D+i que en esta sección se refieren, se limitan a los auspiciados por el Fondo Sectorial CONACYT-Secretaría de Energía-Sustentabilidad Energética, o simplemente **Fondo de Sustentabilidad Energética (FSE)**, correspondientes a las convocatorias del año 2009 al 2018.

3.1.1 Proyectos del Fondo de Sustentabilidad Energética

La **SENER**, a través de la Subsecretaría de Planeación y Transición Energética, ha publicado informes de los proyectos beneficiados por el **FSE** a partir de 2009 hasta 2015 [43] [44]. Por su parte, el **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)** también ha presentado información sobre el padrón de beneficiarios de estos proyectos.

En la **Tabla 3-2** se listan 14 proyectos relacionados con la energía solar fotovoltaica y que resultaron beneficiados a lo largo de seis convocatorias lanzadas por el **FSE**. Aunque gran parte de estos proyectos están orientados a las celdas fotovoltaicas, también existen otras temáticas de interés tales como **MFV**, sistemas **FV**, creación de laboratorios y la creación del **Centro Mexicano de Innovación en Energía Solar (CEMIE-Sol)**.

Para el desarrollo de estos 14 proyectos, se autorizaron más de 595 millones de pesos por parte del **FSE**. En términos de inversión, el proyecto más grande fue la creación del **CEMIE-Sol** (proyecto 207450), seguido del proyecto Predicción, síntesis, elaboración y calibración de celdas fotovoltaicas y baterías de flujo (proyecto 245754); ambos liderados por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), el primero a través del Instituto de Energías Renovables (IER) y el segundo a través de la Facultad de Química (FQ).

Los montos aprobados para cada uno de los 14 proyectos se muestra en la **Fig. 3-1**, con datos del Padrón de Beneficiarios⁶ y el Informe Cuatro del **FSE**, op. cit. [44].

⁶ El acceso al Padrón de Beneficiarios del **FSE** es a través de <https://www.conacyt.gob.mx/index.php/fondos-sectoriales-constituidos2/item/conacyt-sener-sustentabilidad-energetica>

Tabla 3-1 Instituciones y centros de investigación nacionales con participación en proyectos de energía solar fotovoltaica.

Fuente: Informe Cuatro, Fondo de Sustentabilidad Energética, op. cit. [44].

No.	Institución o centro de investigación	Entidad Federativa
1	Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP)	Puebla
2	Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada (CFATA), UNAM	Querétaro
3	Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATA), IPN	Ciudad de México
4	Centro de Investigación y Estudios Avanzados (CINVESTAV), IPN	Jalisco, Guanajuato, Yucatán, Nuevo León, Querétaro, Coahuila, Tamaulipas
5	Centro de Investigaciones en Óptica (CIO)	Guanajuato, Aguascalientes
6	Centro de Investigaciones y Materiales Avanzados A.C. (CIMAV)	Chihuahua
7	Centro de Nanociencias y Nanotecnología (CNyN), UNAM	Baja California
8	Centro Mexicano de Innovación en Energía Solar (CEMIE-Sol)	Morelos
9	Escuela Nacional de Estudios Superiores (ENES), UNAM	Guanajuato
10	Escuela Superior de Física y Matemáticas (ESFM), IPN	Ciudad de México
11	Instituto de Geofísica (IGF)	Ciudad de México
12	Instituto de Eléctricas Renovables (IER), UNAM	Morelos
13	Instituto de Investigaciones en Materiales (IIM), UNAM	Ciudad de México
14	Instituto de Química (IQ), UNAM	Ciudad de México
15	Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE)	Puebla
16	Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias (INEEL)	Morelos
17	Instituto Politécnico Nacional (IPN)	Ciudad de México
18	Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICYT)	San Luis Potosí
19	Instituto Tecnológico de Toluca (ITToluca)	Estado de México
20	Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM)	Nuevo León, Morelos, Puebla
21	Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ)	Chihuahua
22	Universidad Autónoma de la Ciudad de México (UACM)	Ciudad de México
23	Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM)	Morelos
24	Universidad Autónoma de Nayarit (UAN)	Nayarit
25	Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL)	Nuevo León
26	Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ)	Querétaro
27	Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP)	San Luis Potosí
28	Universidad Autónoma de Yucatán (UADY)	Yucatán
29	Universidad Autónoma de Zacatecas (UAZ)	Zacatecas
30	Universidad Autónoma Metropolitana (UAM)	Ciudad de México
31	Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH)	Chiapas
32	Universidad de Quintana Roo (UQROO)	Quintana Roo
33	Universidad de Sonora (UNISON)	Sonora
34	Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT)	Tabasco
35	Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED)	Durango
36	Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)	Ciudad de México
37	Universidad Politécnica de Chiapas (UPChiapas)	Chiapas
38	Universidad Popular de Chontalpa (UPCH)	Tabasco
39	Universidad Tecnológica de Hermosillo (UTH)	Sonora
40	Universidad Tecnológica del Valle del Mezquital (UTVM)	Hidalgo
41	Universidad Veracruzana (UV)	Veracruz

Tabla 3-2 Proyectos de energía solar fotovoltaica con apoyo del Fondo de Sustentabilidad Energética 2009-2015.

Fuente de datos: Informe Cuatro, Fondo de Sustentabilidad Energética, op. cit. [44].

Número de proyecto	Nombre del proyecto	Líder	Temática
117891	Procesamiento de módulos fotovoltaicos de CdTe/CdS de baja potencia para su transferencia tecnológica al sector industrial	IER-UNAM	Módulos FV
150111	Desarrollo de celdas solares nano cristalinas de multicapa ultra delgada	UANL	Celdas FV
151076	Fabricación de celdas solares de aleaciones semiconductoras basadas en Ga(in)N	CINVESTAV-IPN	Celdas FV
152244	Celdas solares fotovoltaicas basadas en películas Ge(x)Si(1-x): depositadas por plasma sobre sustratos de plástico	INAOE	Celdas FV
207450	Centro Mexicano de Innovación de Energía Solar	IER-UNAM	CEMIE-Sol
245467	Materiales híbridos nano estructurados y multifuncionales como electrodos para celdas solares	IPICYT	Celdas FV
245754	Predicción, síntesis, elaboración y calibración de celdas fotovoltaicas y baterías de flujo	FQ-UNAM	Celdas FV
245811	Desarrollo de celdas fotovoltaicas orgánicas híbridas con materiales nano-estructurados para incrementar la eficiencia y disminuir la degradación	UAQ	Celdas FV
246259	Diseño, construcción y equipamiento de laboratorio experimental y de educación en energía solar fotovoltaica, térmica e hidrógeno	UTH	Laboratorios
249714	Diseño e instalación de un sistema fotovoltaico de 250 kWp para la generación de energía eléctrica en la Universidad Popular de Chontalpa	UPCH	Sistemas FV
256766	Desarrollo de celdas solares de estado sólido de alto desempeño basado en Perovskitas híbridas bidimensionales utilizando cationes orgánicos alternativos	UANL	Celdas FV
269386	Estudios optoelectrónicos de perovskitas híbridas para su aplicación en diodos emisores de luz y celdas solares	IER-UNAM	Celdas FV
269410	Análisis de la confiabilidad y rendimiento eléctrico de módulos y sistemas fotovoltaicos	IER-UNAM	Módulos FV
269414	Celdas solares de silicio y perovskitas tipo tándem de alta eficiencia	IER-UNAM	Celdas FV

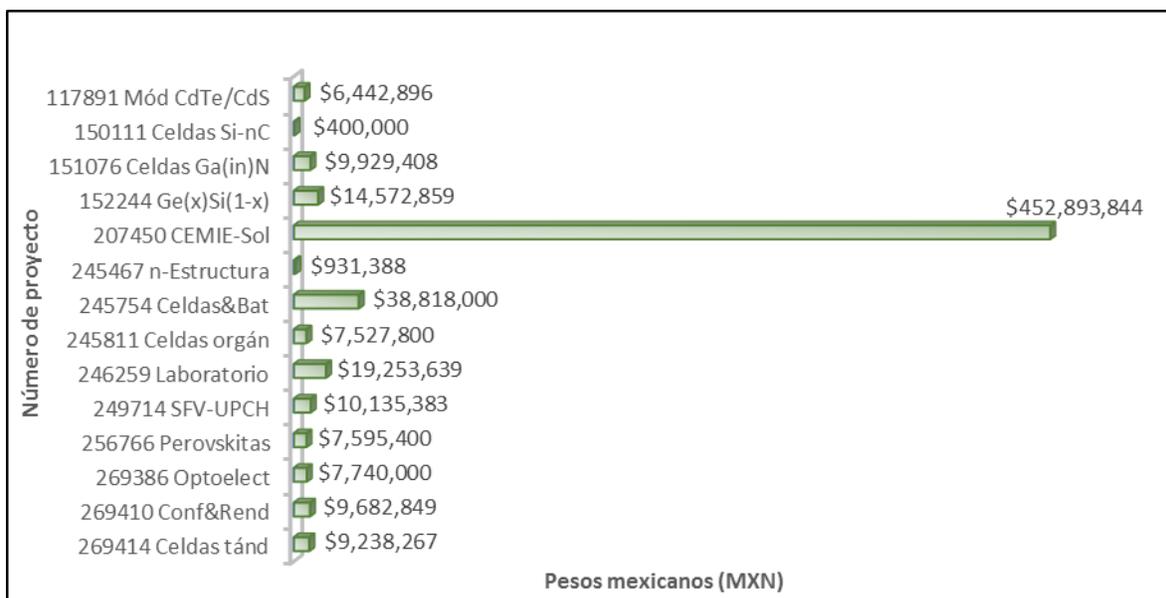


Fig. 3-1 Distribución del presupuesto del Fondo de Sustentabilidad Energética para proyectos de energía solar fotovoltaica.

Fuente de datos: Informe Cuatro, Fondo de Sustentabilidad Energética, op. cit. [44].

De acuerdo con un estudio publicado en 2017 por el **Instituto Mexicano del Petróleo (IMP)** [45], el **CEMIE-Sol** reportó la gestión de 13 proyectos relacionados con el área de energía solar fotovoltaica. Éstos han sido apoyados principalmente por el **FSE** aunque también han recibido presupuesto concurrente⁷.

Con datos de los reportes del **IMP** y la **SENER**, así como información que el mismo **CEMIE-Sol** ofrece en su sitio web⁸, se construyó la **Tabla 3-3**.

En estos proyectos aparecen otras temáticas como la elaboración de inventarios de recurso solar y el aprovechamiento del calor para generar electricidad.

De acuerdo con la información del **IMP** [45], se puede decir que:

- Los proyectos P22, P25 y P50 están dirigidos exclusivamente al desarrollo de tecnología.
- Los proyectos P16, P29 y P43 están dedicados únicamente al desarrollo de capacidades técnicas que puede involucrar herramientas de información e infraestructura, métodos y técnicas, así como formación de talento.
- El resto de proyectos persigue tanto el desarrollo de tecnología como el desarrollo de capacidades técnicas.

⁷ El presupuesto concurrente es un adicional proveniente de las contribuciones de un grupo de integrantes del CEMIE-Sol conformado por 10 empresas y 47 universidades y centros de investigación.

⁸ <http://www.cemiesol.mx/proyectos/>

Tabla 3-3 Proyectos del CEMIE-Sol en el área de energía solar fotovoltaica 2014-2018.

Fuente: Elaboración con información de SENER, IMP y CEMIE-Sol [44] [45].

Número de proyecto	Nombre del proyecto	Líder	Instituciones nacionales participantes	Temática
P16	Inventario Nacional del Recurso Solar (Mapa del recurso solar)	IGF-UNAM	IER-UNAM, INEEL, CINVESTAV-IPN, UACJ, UNISON, UJED, UAN, UAZ, UTVM, UQROO, UADY	Inventarios
P21	Recubrimientos autolimpiables de alto desempeño para superficies fotovoltaicas	CIMAV	-	Celdas FV
P22	Diseño y Desarrollo de Dispositivos Fotovoltaicos en la CIACYTUASLP: a base de InGaN Cúbico y Estructuras de Celdas Multibanda de GaNAs	UASLP	CIMAV, CINVESTAV-IPN, *	Celdas FV
P25	Desarrollo de prototipos de módulos fotovoltaicos de CdTe/CdS en área de 100 cm ² con eficiencia en el rango de 10%, y de sistemas asociados para la fabricación del mismo para su futura transferencia tecnológica	IER-UNAM	UCACH, UAQ, ESFM-IPN, CINVESTAV-IPN, CIMAV, UJAT, UACM, UPChiapas	Módulos FV
P27	Desarrollo y fabricación de módulos de celdas solares de TiO ₂ sensibilizadas con colorante (DSC) y puntos cuánticos (QDs), y de orgánicas fotovoltaicas (OPVs)	IER-UNAM	ESFM-IPN, ITToluca, CINVESTAV-IPN, BUAP, CIO, UAEM, UNISON, ENES-UNAM	Módulos FV
P28	Nanotecnología aplicada en el desarrollo de películas delgadas y prototipo de celdas solares	CIO	CFATA-UNAM, IER-UNAM, CNyN-UNAM	Celdas FV
P29	Desarrollo de un laboratorio nacional para la evaluación de la conformidad de módulos y componentes de sistemas e instalaciones fotovoltaicas LANEFV	IER-UNAM	CINVESTAV-IPN, **	Laboratorios
P30	Desarrollo de prototipos de módulos solares fotovoltaicos basados en celdas solares de capa delgada de silicio amorfo y polimorfo nano-estructurado	CINVESTAV-IPN	-	Celdas FV
P32	Nanoantenas termoeléctricas con alta eficiencia para el aprovechamiento de energía solar	UASLP	***	Calor para electricidad
P35	Investigación y desarrollo de celdas solares con materiales novedosos	IER-UNAM	UANL, CINVESTAV-IPN, +	Celdas FV
P37	Desarrollo de nuevos dispositivos fotovoltaicos y materiales semisuperconductores	UAQ	ESFM-IPN, UACM, CINVESTAV	Celdas FV
P43	Laboratorio de Edificaciones Sustentables para desarrollo y evaluación sistemas solares pasivos	IER-UNAM	UNISON	Laboratorios
P50	Rutas de manufactura de bajo-capex acopladas a tratamientos térmicos para el alto desempeño de materiales novedosos en película delgada	IER-UNAM	++	Celdas FV

*Participación del instituto alemán Leibniz Institute for Analytical Sciences.

**Participación de: Arizona State University (Estados Unidos) y University of Applied Science Bielefeld (Alemania).

***Participación de: Universidad Complutense de Madrid (España), Universidad Católica de Santiago de Chile (Chile), University of North Carolina (Estados Unidos), Institut Jean Lamour (Francia) y Université de Lorraine (Francia).

+Participación de: Universidad Católica de Santiago de Chile (Chile), Institut Jean Lamour (Francia) y Université de Lorraine (Francia).

++Participación del Massachusetts Institute of Technology (Estados Unidos).

En términos de inversión económica, es prudente aclarar que del monto aprobado por el **FSE** para el proyecto 207450, creación del **CEMIE-Sol**, se destinó la cantidad de 35 millones 600 mil pesos a su operación y el resto se ha reservado para el desarrollo de proyectos de innovación relacionados con la energía termosolar y solar fotovoltaica. De esta reserva, los proyectos del **CEMIE-Sol** dedicados de manera particular a la energía termosolar se beneficiaron con una cantidad por encima de los 179 millones de pesos. Esto significa que, del **FSE**, la inversión efectiva total en I+D+i en el área fotovoltaica en el período considerado fue de poco más de 416 millones de pesos como se ilustra en la **Fig. 3-2**.

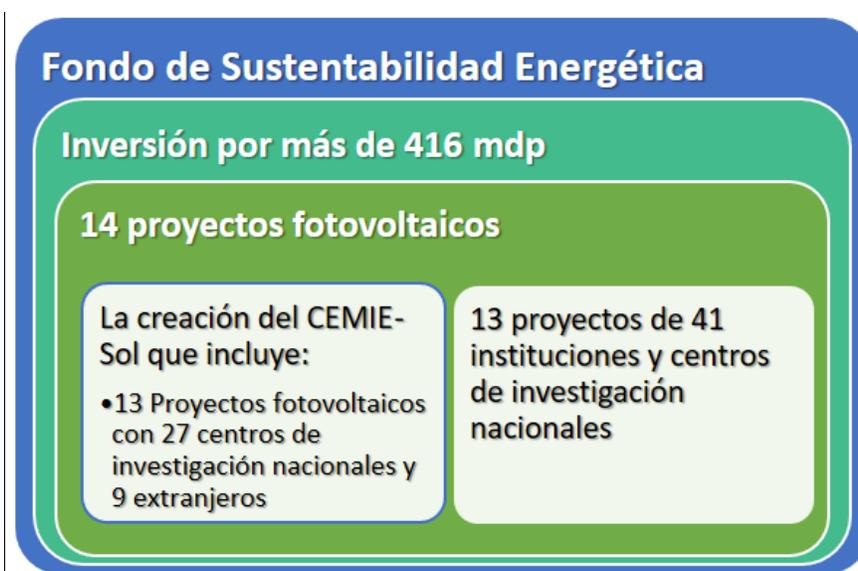


Fig. 3-2 Proyectos de investigación, desarrollo e innovación en energía solar fotovoltaica, impulsados por el Fondo de Sustentabilidad Energética.

Fuente: Elaboración propia con datos de SENER, IMP y CEMIE-Sol [44] [45].

El monto proveniente del **FSE** que fue destinado a los proyectos listados en la **Tabla 3-3** superó los 238 millones de pesos distribuidos como se ilustra en la **Fig. 3-3**.

El proyecto con mayor inversión es el Inventario Nacional del Recurso Solar (P16), seguido del proyecto Rutas de manufactura de bajo-capex acopladas a tratamientos térmicos para el alto desempeño de materiales novedosos en película delgada (P50), liderados respectivamente por el Instituto de Geofísica (IGF) y el Instituto de Energías Renovables (IER), ambos institutos pertenecientes a la UNAM.

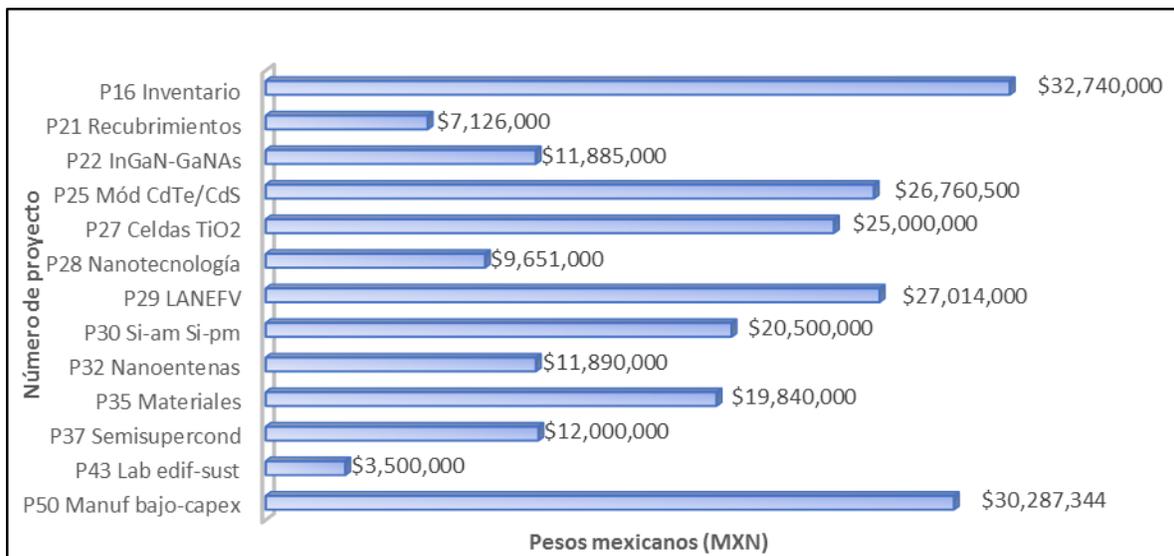


Fig. 3-3 Aportaciones del Fondo de Sustentabilidad Energética asignadas a los proyectos fotovoltaicos del CEMIE-Sol.

Fuente: Elaboración propia con datos de SENER, CONACYT y CEMIE-Sol [44] [45].

Ahora bien, concentrando el total de proyectos registrados como se ilustra en la **Fig. 3-4** es posible reconocer cuáles son las temáticas más incursionadas en el País. Como ya se adelantaba, más de la mitad de los proyectos fueron dirigidos al desarrollo de nuevos materiales para celdas fotovoltaicas. En segundo lugar, la atención se dirige hacia los proyectos relacionados con el rendimiento y la fabricación de **MFV**, así como la creación de laboratorios especializados para esta tecnología.

Aunque la distribución del **FSE** no representa necesariamente un nivel de interés en cierto tipo de proyectos, en este caso sí corresponde en cierta medida con la cantidad de proyectos registrados. Los proyectos enfocados a celdas fotovoltaicas dominan la mayor proporción de esa inversión.

En algunos casos, el trabajo de las universidades, institutos y centros de investigación nacionales se ve complementado con la colaboración de universidades y centros de investigación de otros países como Alemania, Chile, España, Estados Unidos y Francia.

Cabe señalar que hasta el 2018 la mayoría de estos proyectos continuaban en desarrollo. El estado de avance de los proyectos presentados en esta sección se puede consultar en el Informe Cuatro del **FSE** referido anteriormente.

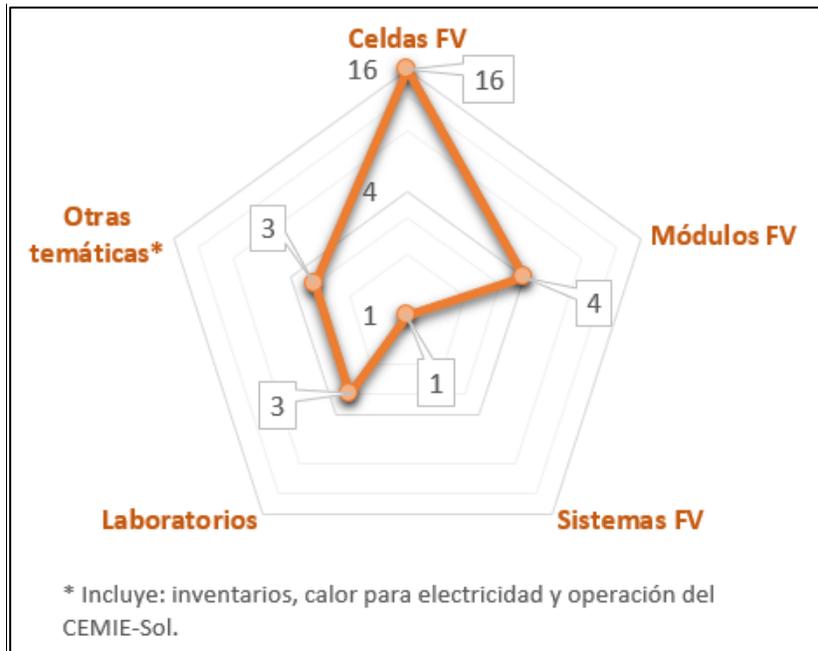


Fig. 3-4 Proyectos nacionales en energía solar fotovoltaica apoyados por el Fondo de Sustentabilidad Energética.

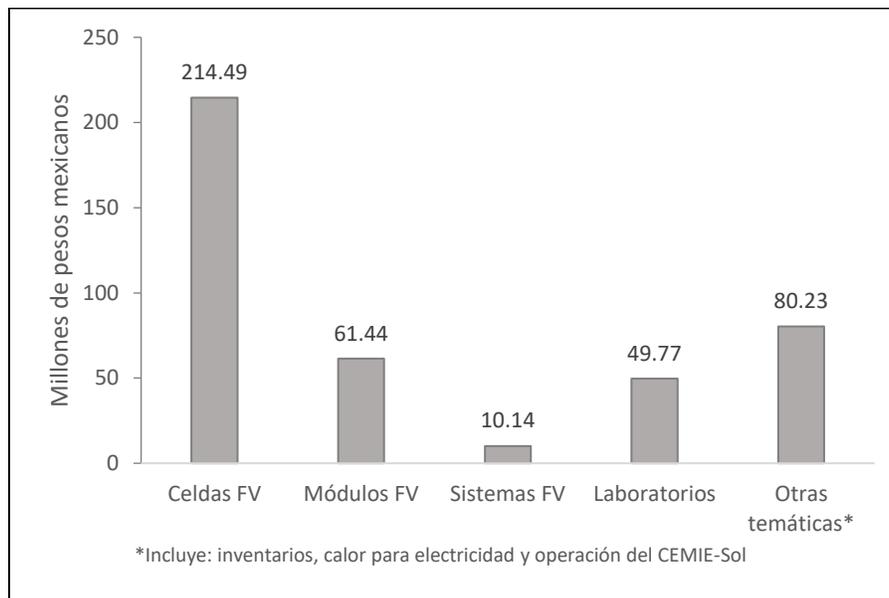


Fig. 3-5 Inversión del Fondo de Sustentabilidad Energética en proyectos nacionales de energía solar fotovoltaica.

Fuente: Elaboración propia con datos de SENER, IMP, CEMIE-Sol [44] [45].

3.1.2 Competencias en producción científica

Los principales productos de las universidades y los centros de investigación son los artículos publicados en revistas arbitradas⁹ y los registros de patentes.

La **IRENA** reporta patentes mexicanas registradas desde 2009 hasta 2013¹⁰. En dicho período se acumularon 378 patentes relacionadas con la tecnología solar FV, representando el 15% de las patentes conseguidas en energías renovables en México y correspondiente al 0.07% del total de patentes en tecnología solar FV en el mundo durante el mismo período.

El **IMP** en su Reporte de Inteligencia Tecnológica: Energía Solar Fotovoltaica de 2017, presenta una consulta a dos bases de datos internacionales¹¹ para identificar el estado de la producción científica a nivel internacional en lo que respecta a temas de la energía fotovoltaica. Algunos de estos resultados se presentan a continuación.

En el período de 2007 a 2017 se publicaron 5999 documentos en torno al tema de celdas FV híbridas, de acuerdo con el **IMP**. De esta cantidad, las publicaciones de China y Estados Unidos representaron el 33%; los investigadores de instituciones mexicanas sumaron tan sólo 62 publicaciones.

Otro tema de interés está relacionado con los materiales para recubrimiento de celdas FV. De 2007 a 2016 se publicaron 2 987 documentos –artículos, libros, entre otros. Entre los términos más mencionados estuvieron la nanotecnología y los componentes inorgánicos.

En el período 2007-2017 se publicaron 1720 artículos relacionados con módulos FV en revistas arbitradas y conferencias alrededor del mundo. Según el mismo análisis, los términos más destacados estuvieron relacionados con componentes de circuito eléctrico y celdas FV; algunos de los menos mencionados fueron aquellos relacionados con costos y evaluación del ciclo de vida. Del total de las publicaciones, México contribuyó con 58 artículos mientras que un 87% provinieron de Estados Unidos.

De 2007 a 2017 se publicaron 51 artículos sobre el tema de control y monitoreo de centrales FV. México participó con dos artículos, posicionándose como el sexto país con más publicaciones en este tema; los líderes del grupo son Estados Unidos e Italia con ocho y siete artículos, respectivamente.

En suma, considerando las publicaciones en aquellos cuatro temas, la participación de México fue del 1.13%.

Las instituciones nacionales con participación destacada en esta producción científica son la Universidad Panamericana, el Instituto Politécnico Nacional, el Centro de Investigación de

⁹ Consultar glosario.

¹⁰ Con información de la base de datos PATSTAT de la Oficina de Patentes Europea <http://resourceirena.irena.org/gateway/dashboard/?topic=1019&subTopic=1059>

¹¹ Las bases de datos: *Engineering Village* y *Orbit*.

Materiales Avanzados, la Universidad Nacional Autónoma de México, el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica y el Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica.

También se hallaron registros de patentes desde 2006 hasta 2016 en celdas híbridas y materiales para recubrimiento de celdas **FV**, la mayoría de ellas pertenecientes a organizaciones chinas y japonesas; en 2015 se registró la mayor cantidad de patentes en el período, superando las 160 unidades, un gran porcentaje de ellas relacionadas con celdas híbridas. México no tuvo participación en este rubro.

3.2 Laboratorios de pruebas

En México se cuenta actualmente con dos laboratorios para pruebas de equipos fotovoltaicos.

El **Laboratorio Nacional de Evaluación Fotovoltaica (LANEFV)** del Instituto de Energías Renovables (IER) de la UNAM ofrece los siguientes servicios:

- Evaluación de **MFV** de tecnología Silicio cristalino, acorde a las pruebas descritas en la norma internacional IEC 61215.
- Evaluación del desempeño eléctrico de **MFV**.
- Trazado de curvas corriente-voltaje, en sitio con luz natural y en el laboratorio con simulador solar.
- Pruebas de electroluminiscencia para la identificación de micro-fracturas.

El **LANEFV** tiene una infraestructura robusta que le permite llevar a cabo pruebas a los **MFV** para evaluar su calidad. Las normas en las que se basa la Evaluación de la Conformidad de la tecnología fotovoltaica incluyen las correspondientes a la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC por sus siglas en inglés), las NMX y las de Underwriters Laboratories (UL).

De acuerdo con una entrevista* realizada al Dr. Aarón Sánchez Juárez del IER-UNAM por *Petroquímex – La Revista de la Industria Energética* [46], el aumento en la oferta y demanda de sistemas fotovoltaicos para la producción de electricidad, ha originado un mercado atractivo para los proveedores y fabricantes de este tipo de sistemas, incluyendo una cadena de valor asociada a los mismos, con todos los riesgos implicados en cuanto a desempeño, seguridad y durabilidad. La falta de información y preparación tanto de quienes ofrecen esta tecnología, como de los usuarios o clientes, ha tenido como consecuencia fallas en este tipo de sistemas. Esto ha ocasionado desde inconformidad en los usuarios hasta accidentes graves que han causado pérdidas materiales gigantescas: como fueron los casos del proyecto Planta Solar Aura Solar, en La Paz, Baja California

Sur, y del sistema fotovoltaico instalado en la azotea de un edificio en Ciudad Judicial Zapopan, Jalisco; entre otros que no han sido documentados.

El mercado nacional **FV** se nutre tanto de productos nacionales como importados de diferentes partes del mundo que requieren la evaluación de la conformidad de módulos y sistemas fotovoltaicos. Sin embargo, para poder realizar este tipo de proceso, se requieren laboratorios de ensayo que antes de la creación del LANEFV no había de este giro en México.

*Extracto. Texto adaptado.

El **Laboratorio de Pruebas de Equipos y Materiales (LAPEM)** es una organización de la Comisión Federal de Electricidad que, entre sus funciones, se encarga de brindar servicios de pruebas de laboratorio y campo a equipos y materiales. Entre las pruebas que realiza en el área de energía solar fotovoltaica, se destacan:

- Pruebas mecánicas en **MFV**.
- Pruebas de determinación de potencia máxima, desempeño y eficiencia de **MFV**.
- Pruebas para la determinación de rupturas de **MFV**, con cámara de electroluminiscencia.
- **MFV** - pruebas de seguridad (aislamiento y compatibilidad electromagnética).
- Pruebas para determinación de potencia máxima, parámetros eléctricos, calidad de energía y eficiencia a inversores de sistemas fotovoltaicos.
- Pruebas protecciones eléctricas contra fallas a inversores de sistemas fotovoltaicos.
- Pruebas de seguridad (pruebas dieléctricas) a inversores de sistemas fotovoltaicos.

También existen diversos laboratorios que realizan pruebas de índole eléctrico para la conformidad de normas NOM y NMX; en particular, estos laboratorios colaboran con Underwriters Laboratories (UL) – México.

3.3 Proveduría de componentes

Las empresas dedicadas a proveer bienes tienen un papel esencial en las cadenas de valor. En México, se cuenta con información diversa relativa a las empresas que participan en la industria fotovoltaica; no obstante, esta información no está lo suficientemente particularizada para tener todo el espectro comercial de la cadena de valor.

Al respecto, se presentan los siguientes datos de referencia:

- En el **Sistema de Información Arancelaria Vía Internet (SIAVI)**, se ofrece un listado de 190 empresas exportadoras cuyos bienes comprenden dispositivos semiconductores fotosensibles, incluyendo celdas fotovoltaicas¹².
- Durante el curso de 2018, la **Secretaría de Economía (SE)** creó el Registro Nacional de Proveedores de la Industria Energética, donde se pretende ubicar al mayor número de empresas de las industrias de hidrocarburos y eléctrica. En esta última el registro se ha clasificado en las categorías de ciclo combinado, eólica y solar fotovoltaica, cada una con códigos de identificación de bienes y servicios¹³. Para la categoría de energía solar fotovoltaica se tiene el registro de, por lo menos, 118 empresas.
- La Asociación Mexicana de Fabricantes de Equipos Fotovoltaicos (AMFEF) reporta en su portal web tres empresas mexicanas dedicadas a la manufactura de **MFV**.
- La Asociación Mexicana de la Industria Fotovoltaica (AMIF) cuenta con un conjunto de asociados con un total de 30 empresas fotovoltaicas.
- El FIDE lista 37 empresas que proveen **MFV** e inversores para **SFV**, a las cuales ha beneficiado con sellos de eficiencia energética y ahorro de energía en algunos de sus productos.
- La Asociación de Normalización y Certificación (ANCE) tiene 17 figuras empresariales registradas (de las cuales, sólo tres han sido dictaminadas como proveedores certificados) en su padrón de proveedores para **SFV** principalmente de uso residencial para un programa del Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (INFONAVIT).
- Según un estudio de la consultora PricewaterhouseCoopers México (PwC) ya citado, op. cit. [2], en 2016 en el País se contaba con 88 empresas dedicadas a la importación de módulos e inversores.

3.3.1 Fabricantes de módulos, inversores y otros componentes

Se han identificado 17 empresas fabricantes de componentes para sistemas **FV**, incluyendo fabricantes de módulos, fabricantes de inversores, y fabricantes de componentes (cable y estructuras), como se presenta en la en la **Fig. 3-6**. Este recuento se ha derivado de investigación propia con información presentada en los portales web de las propias empresas, principalmente.

Fabricantes de módulos fotovoltaicos

Fabricantes nacionales. Las empresas fabricantes de módulos de origen nacional que al 2018 se mantenían operativas se presentan en la **Tabla 3-4**.

¹² La lista proviene del Sistema de Información Empresarial Mexicano (SIEM), así como registros de ProMéxico en Exportanet y su Directorio de Empresas Exportadoras (DIEX). La clasificación de los bienes corresponde a la subpartida 854140 de acuerdo con el Sistema Armonizado de Designación y Codificación de Mercancías. Consulta al primer semestre de 2018. <http://www.economia-snci.gob.mx/>

¹³ <http://www.proveedores-energia.economia.gob.mx/>



Fig. 3-6 Recuento de empresas nacionales y extranjeras con plantas de manufactura de módulos y componentes fotovoltaicos en México.

Fuente de datos: Páginas web de las empresas e investigación propia.

Tabla 3-4 Empresas fabricantes de módulos de origen nacional.

Fuente de datos: Páginas web de las empresas.

Empresa	Planta de producción		
	Ubicación		Capacidad anual (MW _p)
1 ASSIC	Cuautitlán Izcalli	Estado de México	n/d
2 ERDM	San Andrés Tuxtla	Veracruz	n/d
3 IUSASOL	Pasteje	Estado de México	125
4 SAECSA	Cuatlancingo	Puebla	11.4
5 SAYA	Jesús María	Aguascalientes	96
6 Solarever	Tepeji del Río	Hidalgo	100
7 SOLARSOL	Mérida	Yucatán	20
8 SOLARTEC	Irapuato	Guanajuato	250
9 SOLARVATIO	San Felipe Del Agua	Oaxaca	n/d
10 Sydemex Solar	Colima	Colima	n/d

ASSIC, empresa de manufactura y diseño de luminarios establecida en 1990, produce módulos en su planta de Cuatitlán Izcalli, Estado de México. En el año 2003 se crea **ERDM**, por iniciativa de un grupo de empresarios alemanes que deciden invertir en México. En 2013 se crea **IUSASOL**, del grupo IUSA, con la proyección de llegar a producir 500 MW_p, a través de cuatro líneas de manufactura de paneles fotovoltaicos de 125 MW_p cada una. **SAECSA**, empresa poblana, ensambla sistemas de luminarias y generación con módulos propios. **SAYA (Saya Energy)**, fue fundada en el año 2006 y cuenta con planta de manufactura de 96 MW_p anuales localizada en Aguascalientes. **Solarever**, empresa fundada en 2012, cuenta con planta de manufactura de 100 MW_p anuales, la cual se asienta en Tepeji del Río, Hidalgo. **SOLARSOL** fabrica módulos en su planta de Mérida, Yucatán, con una cuota de 20 MW_p anuales. En 2009 **SOLARTEC** inició operaciones en Irapuato, Guanajuato; en 2014, adquirió a la francesa Tournaire Solaire Energie para reubicarla en Houston, Texas, con el propósito de tener mayor presencia en Estados Unidos, así como a la alemana Bosch Solar para operar bajo el nombre de Semicon y a la belga Photovoltech, mismas que llevó al Parque Industrial Apolo en Guanajuato [47], y al 2018 reportaba operaciones. **SOLARVATIO** es otra empresa que ensambla módulos en México, localizada en el sur, en San Felipe del Agua, Oaxaca.

Fabricantes extranjeros con plantas en México. En 2004 la japonesa **Kyocera** inició la producción de módulos FV en Tijuana, anunciando en 2007 la expansión de su capacidad a 35 MW y con el plan de crecer a 150 MW anuales al 2011 [48]; pero en 2016 se comunicó que se detenía esta producción para migrar a la industria automotriz [49]. **Sanyo Energy**, subsidiaria de Sanyo Electric ahora **Panasonic**, estableció en 2009 una planta ensambladora de módulos HIT con capacidad de 75 MW anuales en el municipio de General Escobedo, Nuevo León, reduciendo en años posteriores su planta de producción a Malasia y Japón [50]. **Jabil Circuit** anunció en 2010 la producción de 45 MW anuales en su planta de Chihuahua, para surtir el mercado estadounidense; sin embargo, al 2018 ya no reporta producción. En 2012 la española **Siliken** cerró su fábrica de Tijuana, tan solo 19 meses después de ponerla en marcha [51]. En 2015, la maquiladora Flextronics ensamblaba módulos FV para **SunEdison** con una producción de 450 MW anuales, ocupando 1,100 obreros [52]; sin embargo, en 2016 cayó en bancarrota y detuvo la producción vendiendo sus activos a Flextronics [53]. De acuerdo con ProMéxico-GIZ-IER [5], en 2016 **Risen Energy**, fabricante chino, contaba con una capacidad de producción de 400 MW anuales en su planta de Durango; se desconoce si en la actualidad se mantiene alguna cuota de producción. **SunPower Corporation**, de origen estadounidense, instaló en 2013 una planta de manufactura de módulos FV en Mexicali [54], y en 2016 abrió una segunda planta en Ensenada [55], con una capacidad de producción anual reportada en ese momento de 2 GW anuales. Hasta donde se ha podido indagar la operación de ambas plantas se mantiene, aunque

se desconoce la cuota actual de producción, por lo que se le reconoce como la única empresa extranjera con maquila de módulos FV en la actualidad en México.

Fabricantes de inversores

Fabricantes nacionales. Las empresas fabricantes de módulos de origen nacional que han sido identificadas:

- ASSIC, con planta en Cuatitlán Izcalli, Estado de México, fabrica inversores para sistemas fuera de red.
- INDUSTRONIC, localizada en Guadalupe, Nuevo León, manufactura inversores para sistemas interconectados con la red.

Fabricantes extranjeros con plantas en México. Como maquiladora extranjera de inversores se contabiliza únicamente a:

- JABIL CIRCUIT. Esta empresa internacional cuenta con planta de manufactura en Guadalajara. De acuerdo con información de su portal, incluye fabricación de sistemas de conversión de potencia (AC-AC, AC-DC, DC-AC, DC-DC).

3.3.2 Empresas distribuidoras

A través de las empresas distribuidoras se hace llegar los materiales y equipos necesarios a los lugares donde se ejecutan los proyectos de **SFV-GD**. En muchos casos, estos centros de comercialización permiten el acceso a productos importados con altos estándares de calidad.

Desde luego, las distribuidoras asumen un papel importante en la cadena de valor ya que son las que determinan un ecosistema de oferta y demanda cercano al cliente quien, en general, es la empresa integradora. Las distribuidoras ofrecen diferentes niveles de calidad y confiabilidad en el servicio y productos ofertados. Aquí es donde la competitividad de las fabricantes de cada producto toma fuerza, ya sea por medio de distribuidoras propias o, como en su mayoría, a través de terceros. La comunicación de las ventajas competitivas de los productos fotovoltaicos depende, en buena medida, de las estrategias de comercialización de las empresas distribuidoras.

En una consulta al directorio ENF Solar [56], se contabilizaron alrededor de 40 distribuidores de los cuales alrededor de 15 pueden ser catalogados como mayoristas.

Con base en la información de los portales web de empresas FV, se obtuvo un recuento básico de aquellas que se ostentan como distribuidoras de equipos y componentes para SFV-GD como se presenta en la **Fig. 3-7**.

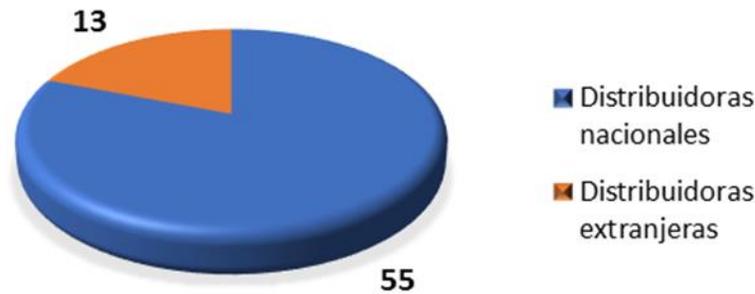


Fig. 3-7 Distribuidoras de módulos, inversores y componentes de sistemas fotovoltaicos.

La mayor proporción de las empresas distribuidoras son de origen nacional. La distribución de componentes para **SFV** es un negocio que no exige un alto conocimiento técnico o experiencia específica, sino comercial y de logística. Es por ello que este segmento de negocio se manifiesta como una opción atractiva de emprendimiento.

3.4 Integración de sistemas

3.4.1 Empresas integradoras

Las empresas integradoras tienen como misión esencial la de desarrollar proyectos de **SFV-GD**, contribuyendo directamente a la expansión de la tecnología y al crecimiento de la capacidad instalada **FV** en el País.

Aunque no se cuenta con un sistema nacional de registro de empresas integradoras de **SFV-GD**, al cual remitirse, existen datos de referencia que pueden ser citados.

- Según PricewaterhouseCoopers México (PwC), op. cit. [2], en 2016 se contabilizaron 84 empresas del ramo **FV** ofreciendo servicios de ingeniería, suministro, construcción, operación y mantenimiento en todas las escalas. De estas empresas, 46 se enfocaban exclusivamente a la **GD**, 9 se dedicaban a los sistemas de gran escala, y 29 abarcaban tanto **GD** como la gran escala.
- El padrón de empresas **FV** de FIRCO/ANCE consultado en 2018 arrojó un registro acumulado total de 755 empresas (certificadas, verificadas y en proceso).
- ProMéxico en colaboración con otras organizaciones, en un estudio publicado en 2017 [5], menciona “la presencia de más de 600 empresas que han incursionado en el mercado de la generación distribuida fotovoltaica en México; sin embargo, la

información reportada en estos portales no refleja necesariamente el universo total de empresas con participación en el mercado mexicano”, con base en la información de organismos y programas como la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES), el Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE) y el Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO).

- En el portal de ANES se contabilizaron 933 empresas listadas en el tema de energía solar fotovoltaica como aparecían en el primer semestre de 2018; sin embargo, el portal fue actualizado observándose una reducción sustancial en este número. Al respecto, ANES ha manifestado contar actualmente con alrededor de 200 empresas asociadas [57].
- La Asociación Mexicana de Energía Solar (ASOLMEX) cuenta con 106 empresas asociadas que están involucradas en la energía solar fotovoltaica, de las cuales sólo 6 se concentran en la GDFV, de acuerdo con la clasificación de dicha asociación.
- El FIRCO cuenta con un registro de 755 empresas dedicadas a proyectos FV incluyendo tanto bombeo de agua con aplicaciones en agro-negocios, como generación distribuida; de estas empresas, 108 están certificadas como proveedores verificados por la ANCE.
- Una consulta al Directorio ENF Solar en línea, op. cit. [56], arrojó un total de 313 empresas instaladoras, de las cuales, 253 correspondían a la pequeña escala.

En la **Fig. 3-8** se muestra el conteo por estado del padrón de empresas integradoras **FV** de FIRCO/ANCE, antes mencionado. Este conteo corresponde a un registro acumulado y no necesariamente corresponde al total de empresas que se mantienen operativas.

3.4.2 Unidades de verificación eléctrica y de inspección

Una vez que se instala el sistema conforme a la normatividad técnica de rigor, éste debe ser puesto en marcha e interconectado con la red mediante un contrato de interconexión por ser suscrito con el Suministrador. Para éste propósito existen condiciones que establece el marco regulatorio nacional en términos de seguridad, así como de la calidad de la energía que se pretende inyectar aplicables a cierto tipo de sistemas. En el primer caso, cuando se trata de instalaciones destinadas a lugares de concentración pública, se requiere la **verificación eléctrica** del sistema por una **Unidad de Verificación de Instalaciones Eléctricas (UVIE)** autorizada por la CRE. En el segundo caso, cuando se trata de instalaciones que operarán en media tensión, se requerirá la inspección del sistema por una **Unidad de Inspección de la Industria Eléctrica (UI o UIIE)**, también autorizada por la CRE. En la **Tabla 3-5** se presenta un cuadro comparativo que describe la operación de las **UVIE** y **UIIE**.

De acuerdo con información reciente de la SENER, al mes de diciembre de 2018, se contabilizaron 401 **UVIE** registradas y aprobadas [58], incluyendo personas físicas y morales, en tanto que el registro de **UI** es de 17 [59]. La **Fig. 3-9** presenta la distribución geográfica de la **UVIE**, en tanto que la **Fig. 3-10** presenta la distribución geográfica de **UIIE** en el territorio nacional.

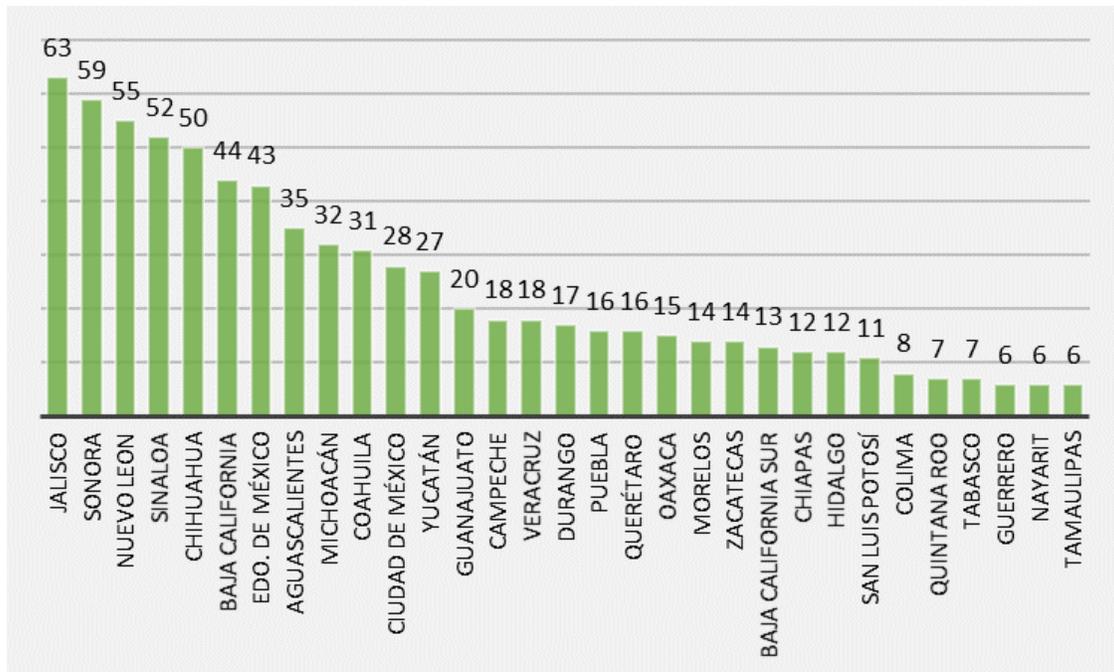


Fig. 3-8 Distribución geográfica de empresas integradoras fotovoltaicas de acuerdo con el padrón FIRCO/ANCE.

Fuente de datos: Padrón FV Proyecto Energía Renovable /FIRCO-ANCE [60].

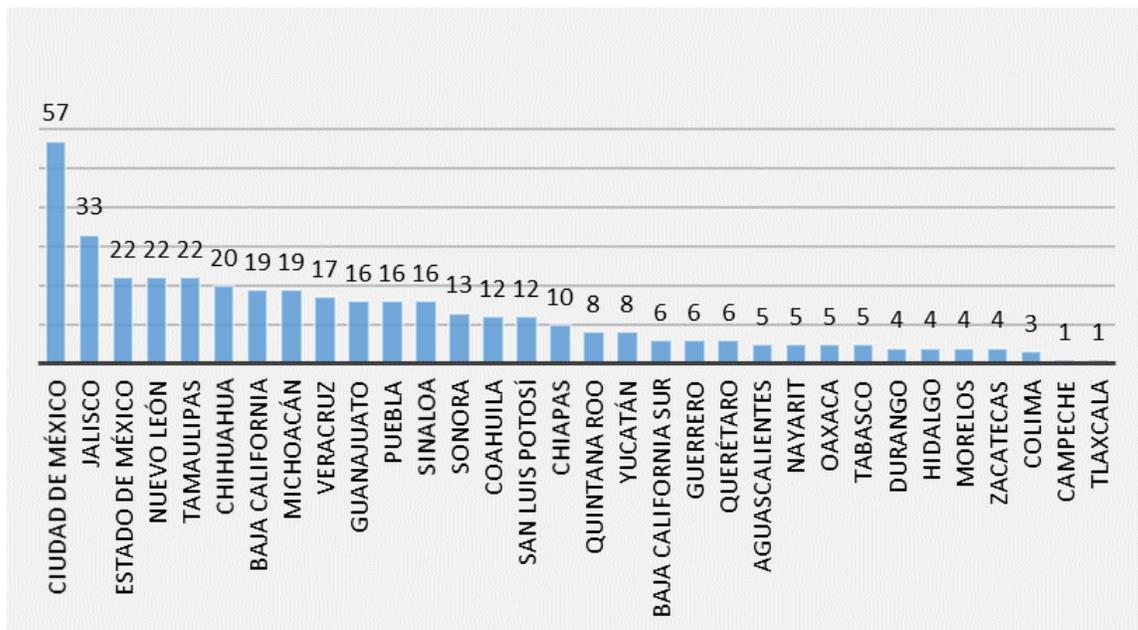


Fig. 3-9 Distribución geográfica de Unidades de Verificación de Instalaciones Eléctricas.

Fuente de datos: SENER op. cit. [58]

Tabla 3-5. Comparativo de funciones entre Unidades de Verificación Eléctrica y Unidades de Inspección de la Industria Eléctrica.

	UVIE	UIIE
¿Cuál es su objetivo?	<ul style="list-style-type: none"> • Dar cumplimiento a lo establecido en la LIE artículo 33, Fracción V. Esto es, certificar en los formatos que para tal efecto expida la CRE, que la instalación en cuestión cumple con las normas oficiales mexicanas aplicables a dichas instalaciones. Para el caso de los SFV-GD, las UVIE se encargan de revisar y dictaminar el cumplimiento de la NOM-001-SEDE-Vigente y en particular el Artículo 690, estableciendo que la instalación es segura para operarse y poder interconectarse con la CFE. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dar cumplimiento a lo establecido en la LIE artículo 33, Fracción IV. Esto es, certificar que la instalación para la interconexión, cumple con las características específicas de la infraestructura requerida establecidas por el CENACE, de acuerdo con el esquema de interconexión propuesto. Las características específicas, se refieren a los componentes de la topología alrededor del “punto de interconexión”, mismo que el CENACE señala para cada caso en particular.
¿En qué casos se requiere?	<ul style="list-style-type: none"> • Cuando se trate de conexiones de instalaciones destinadas al uso de energía eléctrica para la prestación de servicios en lugares de concentración pública. • Cabe hacer notar que la LIE mandata que también se requiere cuando se trate de conexiones de instalaciones destinadas al uso de energía eléctrica para servicios en alta tensión, sin embargo, de acuerdo con el <i>Manual de Interconexión de Centrales de Generación con Capacidad menor a 0.5 MW</i>, en el apartado 2.4.1, la interconexión de generación distribuida únicamente considera baja tensión (BT, esto es, menor o igual que 1 kV), y media tensión (MT, esto es, mayor que 1 kV y menor o igual que 35 kV). 	<ul style="list-style-type: none"> • Las Centrales Eléctricas conectadas en media tensión, requieren de un dictamen de conformidad, emitido por una unidad de inspección, acreditada por la CRE, que avale la instalación de la central y su operación, dentro de los parámetros establecidos en las especificaciones técnicas generales, normas y demás estándares aplicables. • Quedan exentos del requisito de certificación por parte de una Unidad de Inspección las Centrales Eléctricas con capacidad menor a 0.5 MW Tipo BT, sin embargo, el Solicitante podrá requerir el dictamen por parte de una unidad de inspección si así lo considera conveniente.
¿Cuáles son sus funciones?	<ul style="list-style-type: none"> • La constatación ocular, comprobación, pruebas o examen de documentos, que se realiza para evaluar y dictaminar la conformidad de una instalación eléctrica con la NOM-001-SEDE-Vigente en un momento determinado. Con este dictamen los usuarios tienen la garantía de que sus instalaciones eléctricas no ponen en peligro la integridad de personas y propiedades. 	<ul style="list-style-type: none"> • La constatación ocular, atestiguamiento, comprobación, pruebas o examen, revisión de documentos, entre otras, que se realiza para determinar y certificar el cumplimiento de las especificaciones técnicas, características específicas de las obras e infraestructura requerida y otros estándares determinados por el CENACE. Con este certificado se garantiza el cumplimiento del código de red y la interconexión de los SFV a las Redes Generales de Distribución (RGD).
¿En qué momento se requiere?	<ul style="list-style-type: none"> • Lo ideal es que el trabajo de la UVIE inicie antes de que se pongan en marcha los trabajos de construcción para, primero, aprobar los planos y, luego, dar paso a la verificación eléctrica en campo. 	<ul style="list-style-type: none"> • El trabajo de la UIIE se requiere una vez concluidas tanto la construcción de la Central como las obras para su interconexión a las (RGD).

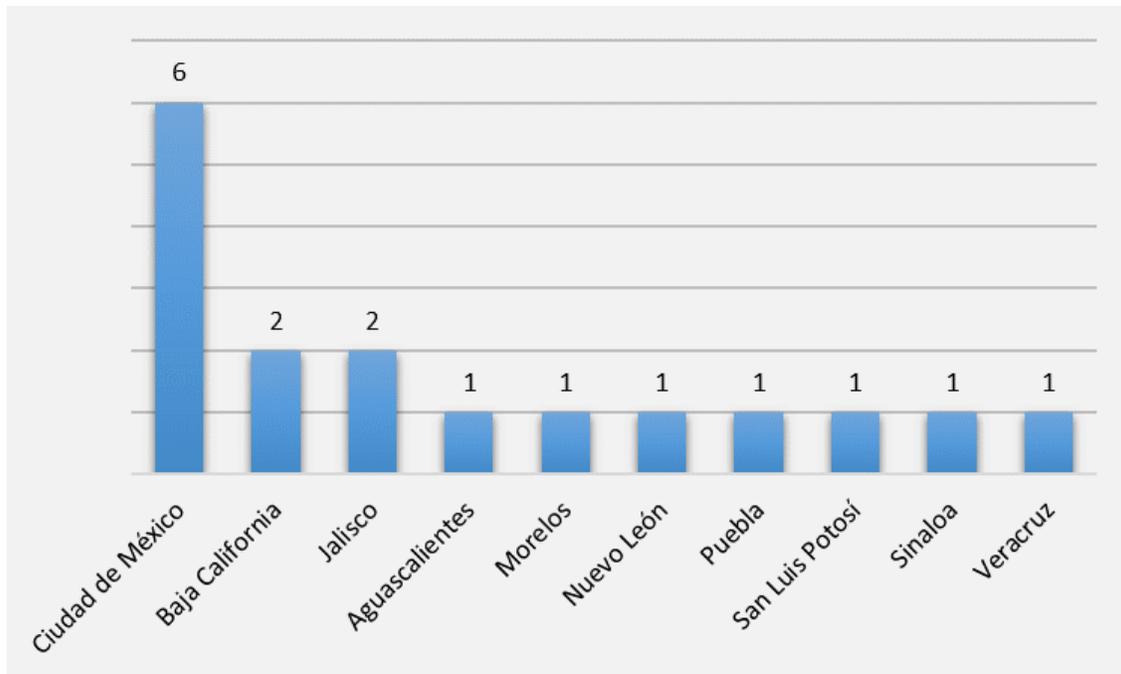


Fig. 3-10 Distribución geográfica de Unidades de Inspección de la Industria Eléctrica.

Fuente de datos: CRE op. cit. [55]

3.5 Empresas de servicios durante la operación y el retiro

3.5.1 Operación y mantenimiento

Una de las ventajas que ofrecen los **SFV** es que requieren de un mantenimiento mínimo a lo largo de su operación. No obstante, se trata de una tarea de la que no se debe prescindir.

En México, las empresas integradoras no siempre ofrecen servicios de O&M como parte de su esquema de negocio. En un sondeo propio en la web se encontró que de un universo de 68 portales web de integradores, sólo el 13% ofrecían expresamente en su publicidad el servicio de O&M, como se ilustra en la **Fig. 3-11**.

Por otro lado, de acuerdo con una encuesta dirigida por **ICM** para el mercado de la **GDFV** [61], el 47% de las empresas integradoras encuestadas declaró haber ofrecido un contrato de O&M a algunos de sus clientes como se ilustra en la Fig. 3-12. En dichos contratos resultaron populares conceptos como:

- Garantías de rendimiento de los equipos, principalmente módulos e inversores.
- Mantenimiento preventivo, básicamente limpieza de los módulos.
- Pruebas técnicas.
- Mantenimiento correctivo.

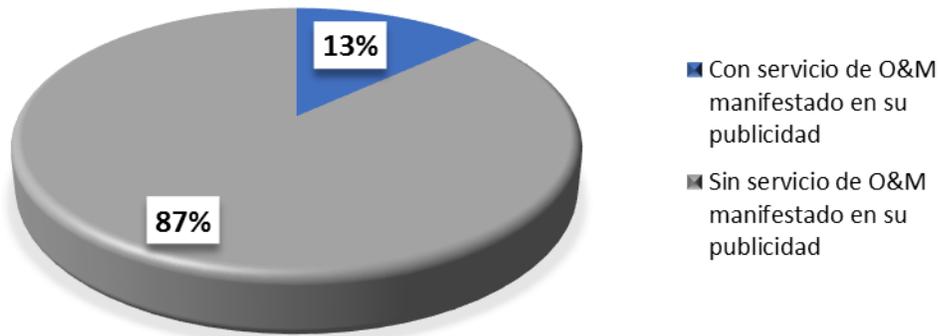


Fig. 3-11 Sondeo de empresas integradoras con servicios publicitados de O&M.

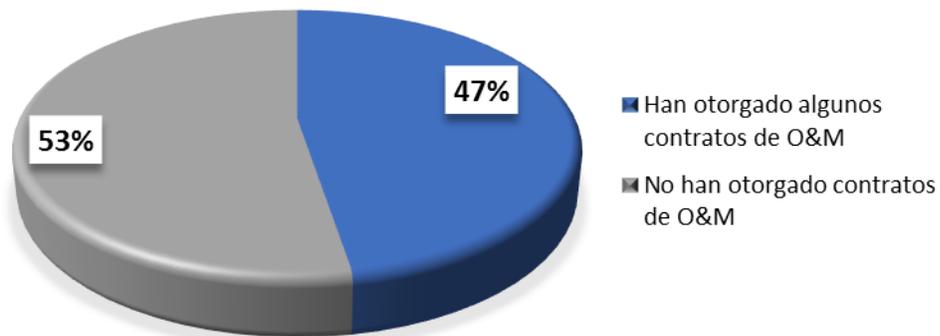


Fig. 3-12 Sondeo de empresas integradoras con contratos suscritos de O&M.
Fuente de datos: Resultados de encuesta de mercado para el proyecto FATERGED; ICM [61].

Desde el punto de vista del Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL, por sus siglas en inglés) de Estados Unidos, se espera que las actividades de O&M abarquen una serie de buenas prácticas [62]. Para explicar brevemente la postura del NREL, se pueden considerar las siguientes interpretaciones:

- **Servicios de operación.** En capacidades de escala comercial e industrial, se debe considerar las instrucciones, conducción y gestión de las operaciones de operación y mantenimiento para garantizar un estado de seguridad, así como efectividad, eficiencia y confiabilidad. Para ello, depende de la combinación del conocimiento de

los operadores con el uso de documentación, protocolos y datos de los sistemas de monitoreo.

- **Servicios de mantenimiento.** Debe tomar en cuenta básicamente tres tipos de mantenimiento: preventivo, correctivo y basado en condición. Además, se complementa con el aseguramiento de efectividad en la implementación, el control y la documentación de las labores de mantenimiento.

Usando esos puntos como referencia, quizá deba reforzarse los planes de mantenimiento considerados en los contratos que ofrecen las empresas en México. Desde luego, esta acción podría implicar una reinvención del modelo de negocio de las empresas, exigiéndoles inversiones para el desarrollo de las capacidades de sus recursos humanos, pero trayéndoles beneficios económicos y ventajas competitivas que agreguen valor a sus servicios.

3.5.2 Retiro: desmantelamiento, reciclaje y disposición final

A pesar de que la tecnología **FV** ofrece grandes beneficios y se le relaciona con una energía amigable con el planeta, también genera grandes cantidades de residuos a lo largo de su ciclo de vida, y una buena proporción de ese volumen de residuos corresponde a los **MFV**.

De acuerdo con un informe emitido por la IRENA y la Agencia Internacional de Energía a través de su Programa de Sistemas Fotovoltaicos de Potencia (IEA-PVPS, por sus siglas en inglés), al final de 2016 se habrían alcanzado las 250,000 toneladas de residuos de **MFV** en todo el mundo, lo cual representa el 0.6% del total de los residuos electrónicos [63].

Los **MFV** –sin defectos y bajo un adecuado manejo– tienen una vida útil de hasta 30 o más años, por lo que la operación de un sistema se proyecta también a este plazo. Una vez que ha transcurrido el período de vida útil, los **SFV-GD** deben ser desmantelados y, en la medida de lo posible, sus componentes reciclados. Es importante reconocer que no siempre se cumple la vida útil de los sistemas, ya que existe una tasa de pérdidas tempranas, esto es, desecho de productos por fallas fatales durante su etapa infantil, alrededor de la vida media, o los puede considerarse un desgaste prematuro.

Aunque se han hecho esfuerzos en la optimización del diseño de estos equipos en aras de reducir el volumen de los residuos generados, el aumento en la instalación de **SFV** alrededor del mundo no se detiene. Según estimaciones de la IRENA y la IEA-PVPS [63], para 2030 la cantidad de residuos acumulados de módulos FV a nivel mundial, considerando pérdidas tempranas, ascenderá a unos 8 millones de toneladas; de las cuales México aportará alrededor de 0.4%, como se ilustra en la **Fig. 3-13**.

En este contexto, es de vital importancia la introducción de instrumentos legales que definan responsabilidades a los actores involucrados.

Un gran ejemplo de este compromiso se refleja en la Unión Europea ya que es la única que actualmente posee un marco legal para el tratamiento de los residuos provenientes de **MFV**, donde se atribuye al importador o fabricante la responsabilidad de recolección, reciclaje y financiamiento para la gestión futura de los residuos. Las disposiciones de esta iniciativa se aprobaron en julio de 2012, se anexaron en la Directiva 2012/19/UE [64] y se incluyeron en los marcos legales de las naciones-miembro en 2014. Los últimos países en aplicar la directiva fueron Alemania y España en 2015.

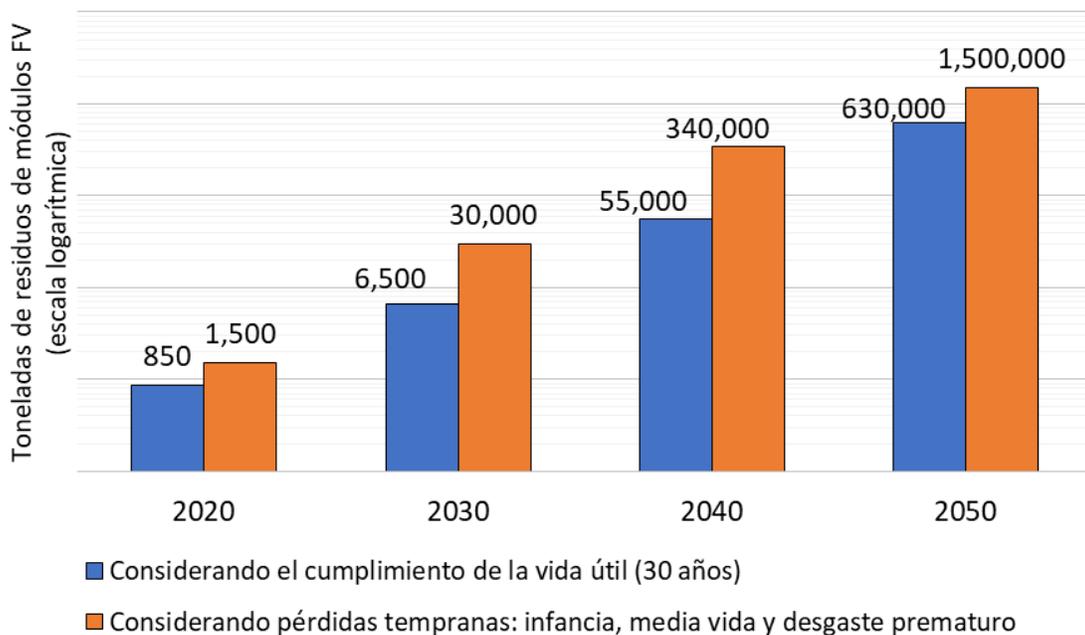


Fig. 3-13 Proyección de los residuos acumulados de **MFV** generados en México.

Fuente de datos: IRENA & IEA-PVPS [63].

En diferentes partes del País se han establecido empresas que contribuyen al reciclaje de diversos residuos. La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) pone a disposición un directorio de centros de acopio clasificándolos por el tipo de material que admiten. Sin embargo, no se ha dedicado un apartado especial para los residuos de centrales fotovoltaicas, que permita identificar con precisión los destinos factibles de tales residuos. Con la información que se ofreció en el directorio publicado en 2010 [65], se detectaron 300 centros de acopio de residuos metálicos y unos 15 centros de acopio de residuos electrónicos en general; éstos podrían tener potencial para participar de algún modo en la actividad del manejo, reciclaje y disposición de los residuos de los **SFV**.

Aunque las acciones más inmediatas se encuentran en la reducción de materiales desde la fabricación de los equipos, no debe dejarse de lado la oportunidad que existe en el aprovechamiento de los residuos como materias primas de segundo uso ya que esto se traduciría en beneficios económicos. De acuerdo con la IRENA y la IEA-PVPS [63], el valor potencial del material recuperado a partir del reciclaje de **MFV** sería de 450 millones de dólares para 2030; esto equivaldría a una producción de 18 GW_p de módulos nuevos, (aproximadamente 60 millones de módulos de 300 W_p).

La tarea del desmantelamiento y el tratamiento de los residuos de los **SFV-GD** debe cobrar importancia para todos los actores actuales y potenciales de la cadena de valor, desde las perspectivas de los beneficios y los retos que implica. El impacto de una visión amplia en este rubro se reflejaría en la fundación de nuevos conceptos empresariales o incluso una nueva industria; en consecuencia, se crearían nuevos empleos a lo largo y ancho de la cadena de valor y no sólo al final de ésta.

Actualidades del programa de reciclaje europeo PV CYCLE

PV CYCLE es una asociación europea sin fines de lucro que gestiona el sistema operativo más importante de recolección y reciclaje de **MFV** al final de su vida útil.

De acuerdo con el reporte anual de PV CYCLE de 2017 [66], desde el inicio de operaciones en 2010 y hasta 2017, mediante el programa se han procesado 19,195 toneladas de manera acumulada.

Tan sólo en 2017 se registraron 4,153 toneladas de desechos de módulos FV reciclados. De esta cantidad Francia, por sí misma, procesó 2450 toneladas representando más del 59% de las operaciones, de las cuales 1,800 toneladas correspondieron a desechos de módulos de CdTe. Se reporta que, en segundo lugar, Italia procesó 1047 toneladas.

¿Qué puede recuperarse del reciclaje de un módulo fotovoltaico?

Con el reciclaje de un módulo FV de silicio cristalino se puede recuperar más del 80% de este material. Sin embargo, también se reciclan los materiales de sus componentes incluyendo las cajas de conexión, el vidrio, los plásticos, los marcos de aluminio y los soportes.

En julio de 2018, la empresa francesa Veolia inauguró la primera planta europea dedicada enteramente a reciclar módulos FV de silicio cristalino, apoyándose en el programa PV CYCLE. En una fase inicial, esta planta procesará anualmente 1,400 toneladas de desechos de módulos FV, esperándose incrementar gradualmente su capacidad hasta alcanzar las 4,000 toneladas por año [67].

3.6 La transformación de la red y los nuevos esquemas de mercado

Cuando se habla de la transformación que está sufriendo la red, el término más recurrido es el de red inteligente o *smart grid*. En términos generales, una red inteligente se consigue con el uso de tecnologías digitales y de comunicación que permitan un mejor control de la energía. No obstante, la adopción de estas tecnologías adicionales implica una modernización de los proyectos que trae beneficios económicos para los propietarios de los SFV, algunos más tangibles que otros según la IRENA [68]: desde la disminución en los costos de O&M hasta la disposición mejorada de información. No obstante, se prevén algunos retos importantes para alcanzar este estado tecnológico; entre los retos que vislumbra la IRENA, se destacan los siguientes:

- Los recursos de capital limitados de los países en desarrollo.
- Los extensos y específicos conjuntos de datos que requiere un análisis de red inteligente podrían no estar disponibles en todo momento y lugar.
- La necesidad de nuevos estándares o regulaciones.
- La armonización de los diferentes sistemas eléctricos.
- El aseguramiento de la privacidad de datos a nivel individuo e institución.

Más allá de la concepción de una red inteligente, ha nacido el concepto de la **Energía Transactiva** (*Transactive Energy*). Este concepto es un nuevo esquema de mercado que está basado en un sistema de mecanismos económicos y de control necesarios para conseguir un balance dinámico de la oferta y la demanda a través de toda la infraestructura eléctrica mediante el uso del valor como indicador operacional [69]. Este indicador operacional puede ser establecido como un valor económico (una ganancia), o de ingeniería (un desempeño). Los sistemas de **Energía Transactiva** son más que simples cargas en los nodos en la red, son algo más dinámico: representan fuentes de generación, almacenamiento y cargas inteligentes.

La adopción de la **Energía Transactiva** se dirige a proveer cada vez de mayor confiabilidad, asequibilidad, sustentabilidad y eficiencia a los sistemas de energía distribuidos; se distinguen las siguientes etapas [69]: (1) instrumentación, (2) inteligencia, (3) automatización avanzada y (4) **Energía Transactiva**.

De acuerdo con la CRE, el nivel de adopción de la GDFV en México es bajo, situándose en la primera de tres etapas de penetración. Esta primera etapa consiste en una modernización de la red; en la segunda etapa se planea el desarrollo de sistemas de gestión y la integración de la GD; la tercera etapa consiste en alcanzar el estado de un **Mercado Transactivo** (*Transactive Energy Framework*). El avance hacia la segunda etapa se detonará cuando la adopción de la GD sobrepase el 5% del pico de demanda en el sistema de distribución, como ya lo ha establecido la CRE [8].

Desde la perspectiva de *Bluewave Resources* [70], gracias al creciente uso de recursos de energía distribuida, además de la **Energía Transactiva**, se vislumbra la inserción del

concepto de **mercados de trabajo transicionales**. Éste concepto se refiere a una renovación de las bases de la seguridad económica de los trabajadores considerando un fenómeno de constante adaptación de los mercados, caracterizado por la movilidad entre empleos o los empleos de tiempo parcial. Los **mercados de trabajo transicionales** constituyen un fenómeno que ya se está manifestando, en la **GDFV** hay cientos de pequeñas y medianas empresas que satisfacen sus necesidades de capital humano a base de esquemas de subcontratación principalmente en la labor de integración de **SFV-GD**.

Por otro lado, el dinamismo del mercado puede traer consigo nuevas oportunidades y actores en torno a los **SFV-GD**, como son los siguientes:

- Clientes potenciales más diversificados por economía y requerimientos.
- Clientes potenciales en comunidades residenciales y comerciales.
- Clientes potenciales demandantes de servicios digitalizados.
- Personal técnico o personas que buscan capacitarse para ser asesores técnico-comerciales, instaladores y supervisores.
- Proveedores de servicios técnicos y administrativos especializados.
- **UVIE's** y **UIIE's**.
- Intermediarios financieros que no cuentan con productos para el sector.

De algún modo, estos nichos de mercado han abierto nuevas oportunidades para las empresas y variedades de modelos de negocio donde se hacen alianzas entre empresas o se combinan servicios tales como:

- Servicios de gestoría financiera y técnica.
- Capacitación en distintas temáticas: supervisión, verificación eléctrica e inspección, y asesoría técnica-comercial o venta técnica.
- Desarrollo de herramientas y materiales de capacitación.
- Consultoría técnica y financiera.
- Comercialización de energía.
- Servicios de monitoreo, operación y mantenimiento.
- Servicios de proveeduría, transporte y logística.

3.7 Estado actual de los segmentos de valor: resumen

Es importante tener una imagen que resuma el estado actual de la cadena y segmentos de valor de la **GDFV**, derivado de lo que se presentó en este capítulo. Con este interés se presenta la **Fig. 3-14**, en donde se esquematiza de manera simplificada el Estado actual de la cadena de valor de la generación distribuida fotovoltaica en México.

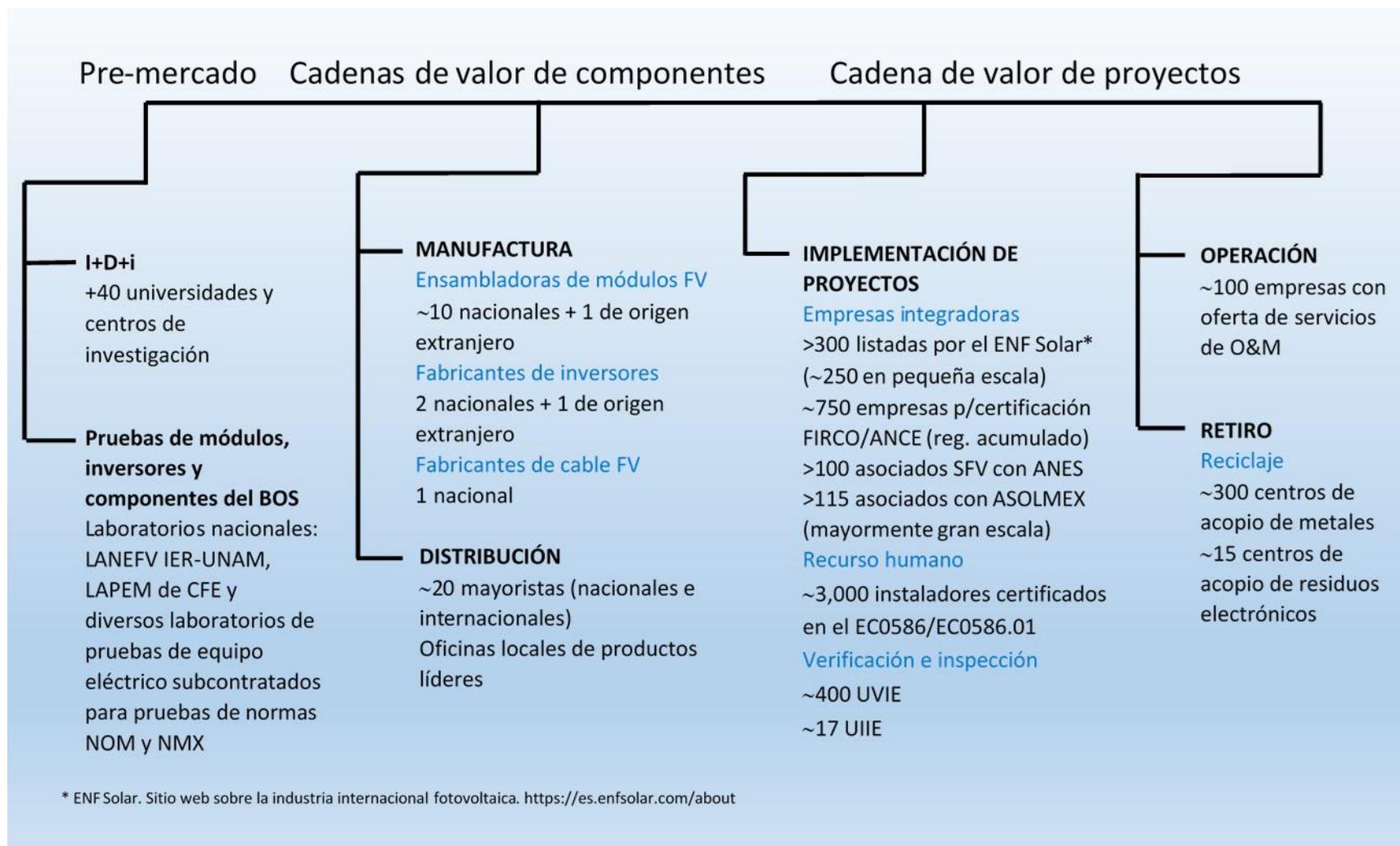


Fig. 3-14 Estado actual de la cadena de valor de la generación distribuida fotovoltaica en México.

4 La dimensión del valor: indicadores clave

En un análisis de cadena de valor se pretende identificar las ventajas competitivas de una empresa o, en este caso, de un sector industrial. La revelación de estas ventajas debe indicar un estado actual de las actividades de la industria que conducirá a estrategias para fortalecer o crear nuevas ventajas que aporten valor.

Los indicadores son elementos que informan cómo funciona una actividad y hacen referencia a parámetros medibles de manera cuantitativa o cualitativa. Por ello, sirven estrictamente como medidas que podrían, por ejemplo, formar parte de una estrategia de cambio o atracción de inversiones. Ahora bien, hay características que un indicador debe cumplir; éste debe ser objetivo (orientado a un resultado relevante), medible, específico, accesible (o factible) y vigente en un tiempo limitado. Con esas características, los indicadores deberían convertirse en instrumentos para la detección de problemas, tendencias y oportunidades en la cadena de valor. De ahí la importancia de su creación o selección.

En la literatura se han propuesto diversos indicadores para evaluar cadenas de valor. Los que figuran en la literatura están relacionados con retornos de inversión y márgenes económicos [71], número de etapas de producción e índices de participación productiva, algunos de los cuales son usados por la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE).

El Grupo de los 20 o G-20¹⁴, ha propuesto una docena de indicadores para analizar cadenas de valor de sectores económicos en términos de valor agregado, creación de empleo y desarrollo sustentable [72].

Se reconoce que la determinación de varios indicadores involucra un proceso muy complejo. Por ejemplo, la determinación del valor agregado es particular de cada tecnología o segmento de la cadena ya que implica la determinación de una utilidad mínima o precio de venta sustentable.

La IRENA, por su parte, ha utilizado la tendencia de tres indicadores para analizar, en particular, la competitividad de los sistemas fotovoltaicos montados en techo, a saber: **el costo instalado**, **el costo nivelado de energía** –cuyo término en inglés es *levelized cost of energy (LCOE)*– y **la tarifa de electricidad efectiva** [73]. De acuerdo con la IRENA, con estos indicadores se puede mostrar la evolución de los costos de esta tecnología en diferentes mercados, y como un “proxy” o equivalente de su valor. En este sentido, no se pretende que el número de indicadores a utilizar sea grande. En general, de acuerdo con Miehlebradt y Riggs [74], con relación a un programa de medición y monitoreo de resultados en el

¹⁴ El G-20 es un foro de discusión y cooperación en temas financieros; se encuentra integrado por más de 20 países industrializados y emergentes. México forma parte de este grupo.

desarrollo de cadenas de valor, es suficiente elegir tres indicadores cuantitativos y uno o dos indicadores cualitativos adicionales, con la particularidad de que estén alineados al objetivo general del estudio, y ser factibles en términos de disponibilidad de datos. Tomando como referencia el conjunto propuesto por el G-20 e IRENA, y en el contexto nacional de la cadena de valor de los **SFV-GD**, se analizan los siguientes conceptos:

- **Parámetros económicos**
 - **Costo instalado.** Desde el punto de vista del usuario, el precio pagado equivale a un costo instalado. Este parámetro se obtiene como un promedio de cotizaciones.
 - **Valor de mercado.** Se extrapola del costo instalado. Se aplica una mayor desagregación, y se presentan proyecciones de su crecimiento.
 - **Valor agregado.** Se discute el panorama internacional de algunos segmentos de la cadena de valor para aportar un marco de referencia.
 - **Costo nivelado de energía.** Se proyectan diversos escenarios sobre su posible disminución a futuro.
- **Número de empleos.** Con base en estimaciones generales, se presentan proyecciones de su crecimiento para diversos segmentos de la cadena de valor.
- **Contenido nacional.** Este indicador no es medible en el ámbito de la **GDFV**, ya que no se ha establecido como requisito, ni para otorgamiento de incentivos federales o locales, ni para contratación pública. Sin embargo, se presenta una discusión del tema y datos de la **balanza comercial** reciente como una primera aproximación a su valor.

4.1 Costo instalado de un SFV-GD

El costo instalado de un **SFV-GD** se refiere al costo de inversión –cuyo término en inglés es capital expenditure (CAPEX)–, necesario para la instalación. Este indicador se presenta en términos específicos, es decir, como la relación entre una cantidad monetaria y la capacidad instalada del **SFV-GD**. La moneda utilizada es el dólar estadounidense. Así, la unidad base de este indicador es: dólares estadounidenses (USD) por watt pico¹⁵ (W_p) instalado (USD/W_p).

Con el objetivo de utilizar datos actualizados y aplicables al mercado nacional, se recopilieron precios de 2018 con base en cotizaciones proporcionadas por integradores, fabricantes y distribuidores de sistemas con operaciones en diversas localidades del País¹⁶.

¹⁵ W_p es la unidad de potencia pico o nominal, esto es, la potencia del módulo o sistema FV en corriente continua a condiciones estándar de prueba (STC, por sus siglas en inglés).

¹⁶ La información de precios corresponde al primer semestre de 2018 derivada de cotizaciones de **SFV-GD** instalados con capacidades de pequeña escala (8 cotizaciones de $<13 kW_p$) y mediana escala (4 cotizaciones de $\sim 100 kW_p$), solicitadas a integradores localizados en Ciudad de México, Morelos, Puebla, San Luis Potosí y Veracruz, así como consultas a 5 empresas distribuidoras. Para concentrar esta información, se obtuvo una media de los precios proporcionados.

En los siguientes apartados, se presenta una estimación del costo instalado en México de **SFV-GD** de pequeña escala, considerando una capacidad de 10 kW_p, y de mediana escala, considerando una capacidad de 100 kW_p. Ajustándose a la información comercial recabada, el costo instalado se desglosa¹⁷ en los siguientes conceptos:

- Costo de módulos.
- Costo de inversores.
- Costo del sistema de montaje.
- Costo de componentes, incluyendo, entre otros, cableado, dispositivos de protección en c.c. y c.a., cajas de conexiones, canalizaciones y dispositivos de protección.
- Costos de ingeniería e instalación.

4.1.1 Costo instalado de SFV-GD de pequeña escala

El costo específico de un **SFV-GD** de pequeña escala de 10 kW_p, instalado en México en 2018, se estima para efectos de este estudio en 1.68 USD/W_p, como se presenta y desglosa en la **Fig. 4-1**. Se reitera que este valor se ha obtenido como el promedio de cotizaciones reales solicitadas a diversos proveedores, y que refleja precios al menudeo de los componentes. Por ejemplo, el costo del módulo **FV** de 0.71 USD/W_p corresponde a un valor al menudeo ofertado por el instalador.

Es conveniente referir el desglose en términos porcentuales, lo que se conoce comúnmente como la distribución de costos, lo cual se presenta en la **Fig. 4-2**. Como se aprecia, los componentes que representan un costo mayor son los módulos y los inversores. De este costo total, el 42% se concentra únicamente en los módulos, 21% en los inversores y el resto se reparte de manera casi equitativamente entre el sistema de montaje (11%), los materiales diversos de instalación (13%), y la ingeniería y ejecución de la misma (13%).

Como dato adicional, se comenta que en el estudio Mercado de Energía Fotovoltaica de Baja Escala, Generación Distribuida, publicado en 2017 por la Asociación de Bancos de México (ABM) en coordinación con Iniciativa Climática de México (ICM), se reporta que durante el año 2016 el costo promedio de un **SFV-GD** de hasta 10 kW_p rondaba los 1,750 USD por kilowatt pico instalado (1.75 USD/W_p) [3].

¹⁷ El costo instalado representa el precio que es pagado al integrador o instalador. Por esta razón, los márgenes de ganancia que el instalador tiene en cada concepto, van implícitos en los valores proporcionados. Es decir, el precio unitario de venta que se indica en una cotización equivale al costo desde el punto de vista del instalador más su margen de ganancia.

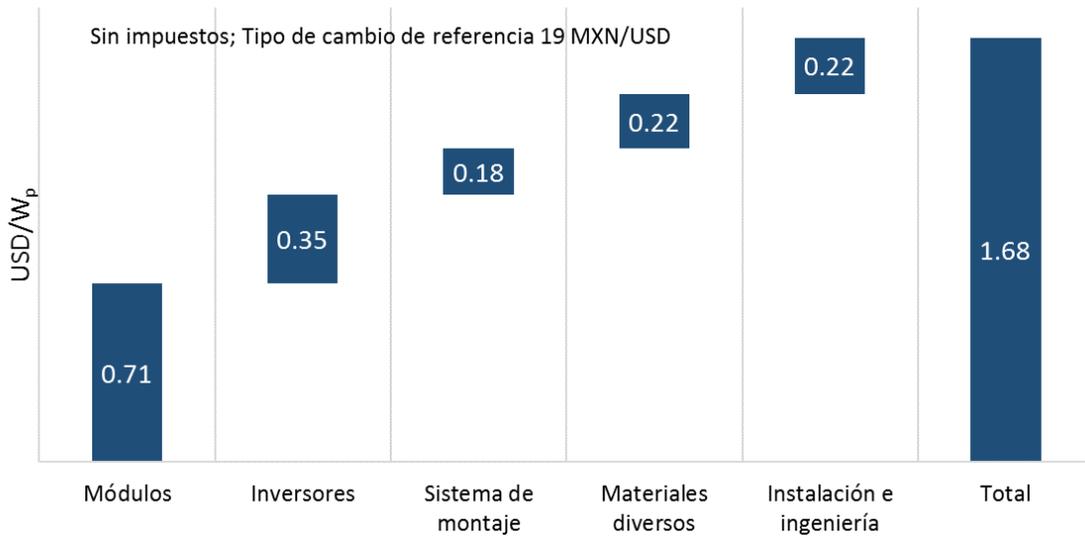


Fig. 4-1 Desglose del costo instalado específico de un sistema fotovoltaico de generación distribuida de 10 kW_p montado en techo.

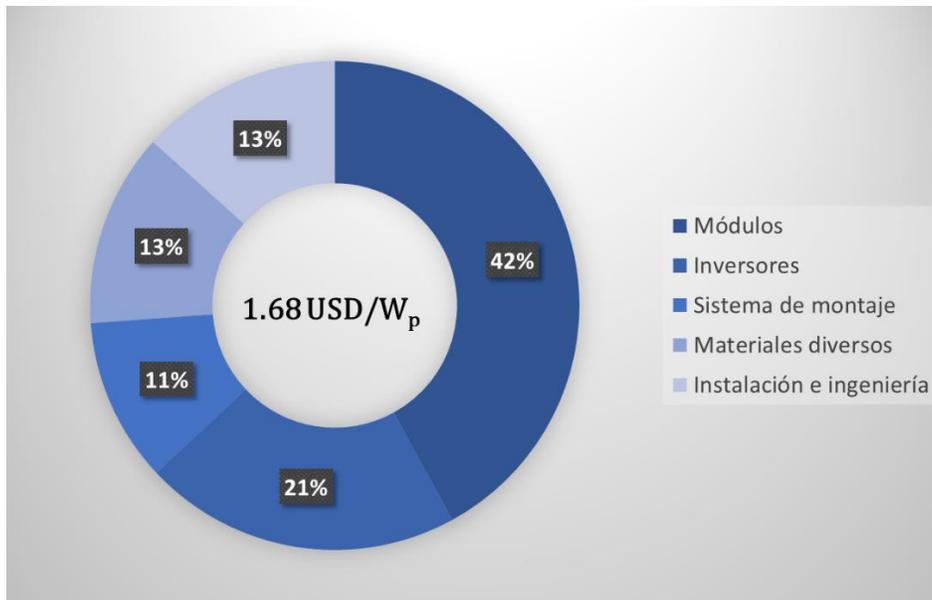


Fig. 4-2 Distribución porcentual de costos de un sistema fotovoltaico de generación distribuida de 10 kW_p montado en techo.

4.1.2 Costo instalado de SFV-GD de mediana escala

Para SFV-GD de mediana escala, con capacidades del orden de 100 kW_p, el costo instalado se ha ponderado en 1.34 USD/W_p, como se presenta y desglosa en la **Fig. 4-3**. Al igual que para el sistema de pequeña escala, este valor se ha obtenido como el promedio de cotizaciones reales solicitadas a diversos proveedores, y refleja precios al menudeo de los componentes. En este caso, el costo del módulo **FV** de 0.64 USD/W_p corresponde a un valor al menudeo ofertado por el instalador para un sistema de 100 kW_p, menor que del sistema de 10 kW_p, por efectos de economías de escala¹⁸.

La distribución porcentual de los costos por concepto se muestra en la **Fig. 4-4**. Los módulos e inversores representan aproximadamente un 48% y 11%, respectivamente, del costo total, el sistema de montaje tiene un peso cercano al 13%, mientras que la instalación e ingeniería alcanza el 15%.

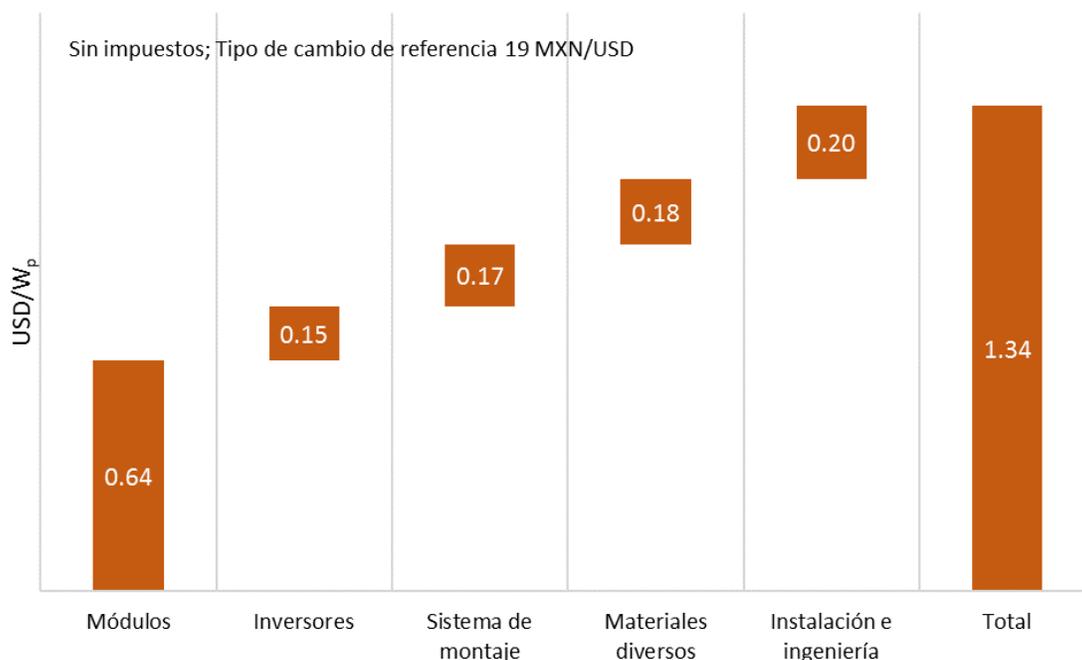


Fig. 4-3 Desglose del costo instalado específico de un sistema fotovoltaico de generación distribuida de 100 kW_p montado en techo.

¹⁸ Se entiende por “economías de escala” a la disminución del costo de inversión o de producción de un sistema al incrementar respectivamente el tamaño o la producción.

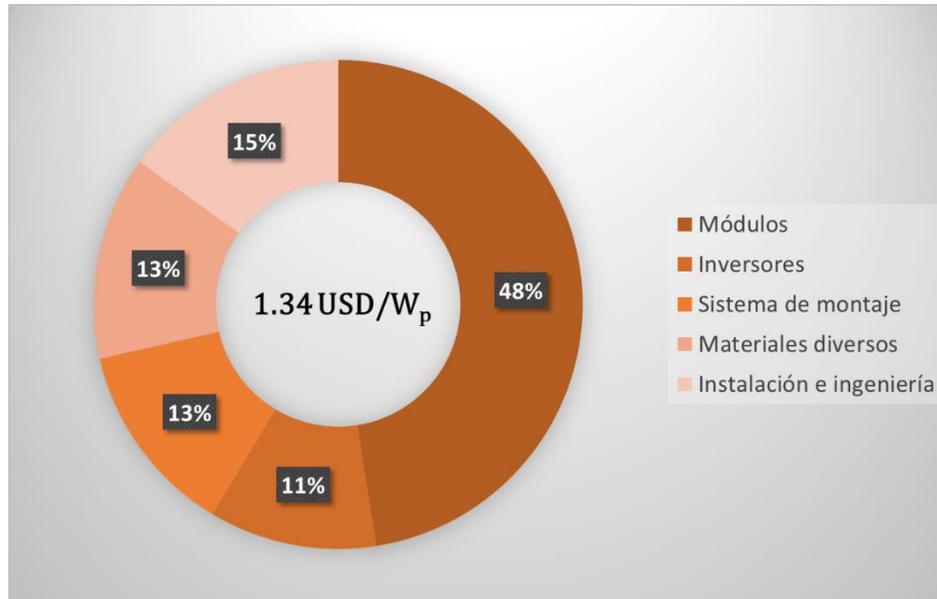


Fig. 4-4 Distribución porcentual de costos de un sistema fotovoltaico de generación distribuida de 100 kW_p montado en techo.

4.1.3 Factor de economías de escala

La diferencia entre los costos de estos sistemas representativos radica principalmente en que, para un sistema de mayor capacidad, se requiere un mayor número de módulos y esto por supuesto eleva la inversión, pero se traduce en una reducción del costo específico, principalmente por los volúmenes de compra. Por otro lado, los inversores requeridos por los **SFV-GD** de 100 kW_p deben ser capaces de tolerar capacidades de potencia mayores y gestionar la energía a través de un sistema eléctrico trifásico, que resulta más eficiente que el monofásico; en lugar de adquirir mayor número de inversores de pequeñas capacidades, se usan pocos inversores de mayor capacidad, los cuales en comparación con los primeros llegan a tener un menor costo por watt de capacidad.

En la distribución de los costos, la inversión debida a los módulos para sistemas de 100 kW_p (47%) supera a la de los sistemas de 10 kW_p (42%) por cinco puntos porcentuales; por otro lado, para el caso de los inversores, el costo de éstos en sistemas de 100 kW_p (11%) tiene una participación 10 puntos porcentuales menor que en sistemas de 10 kW_p (21%). Además, el peso que representa el costo de los materiales diversos en los sistemas de 10 kW_p (13%) es cuatro puntos porcentuales menor que en los sistemas de 100 kW_p (17%).

4.1.4 Costo instalado en otros países: el caso de Estados Unidos

El costo de adquirir un **SFV-GD** varía en las economías de otros países, como muestra en algunos reportes de NREL para los Estados Unidos [75], e IRENA a nivel global [76]. En el reporte realizado por el NREL, se modelan los costos a partir de precios reportados para distintas escalas. Estos costos incluyen un impuesto de venta del 6.7%. Durante el primer trimestre de 2018 el costo instalado de **SFV-GD** se estimó como sigue:

- (a) 2.80 USD/W_p para SFV con capacidades de 3 kW_p a 10 kW_p; 2.61 USD/W_p descontando el impuesto de ventas.
- (b) 1.85 USD/W_p para SFV con capacidades de 100 kW_p; 1.73 USD/W_p descontando el impuesto de ventas.

La razón de que el costo instalado medio en los Estados Unidos sea más elevado que el de México, radica principalmente en un mayor componente por concepto de instalación, así como cargos por conceptos que usualmente en México no se tienen.

En Estados Unidos, a diferencia de lo que ocurre en México, existen cargos por permisos, inspección e interconexión de **SFV-GD** en la escala residencial y comercial. En 2015 estos cargos llegaron a significar de 3,200 a 4,700 USD para un sistema residencial de 5 kW_p [77], equivalente a 64 y 93 centavos de dólar (USD) por watt pico, en tanto que el proceso completo de aprobación de interconexión por las empresas eléctricas tardó en promedio 67 días en dicho año. Los retrasos pueden resultar en mayores costos del sistema, pérdidas de producción de energía e insatisfacción de los clientes. No obstante, el panorama está mejorando, ya que en los costos de referencia de NREL del primer trimestre de 2018 [78], se considera una disminución importante de este concepto: escala residencial 6 y escala comercial 10 centavos de dólar por watt pico.

Desde la perspectiva de *GTM Research* [79], la reducción de los costos en el mercado fotovoltaico de Estados Unidos se puede dividir en cuatro etapas, con pendientes de decrecimiento cada vez menos pronunciadas: la primera (hasta 2012), caracterizada por la reducción más considerable debida a la caída de los costos de producción de los **MFV**; la segunda (del 2012 al 2015), por la reducción en el costo del BoS; la tercera (del 2015 al 2018), debida a una mayor competitividad en el mercado de los módulos y el BoS; y la cuarta (actual), en la que se espera que los costos experimenten un decaimiento anual más lento. Con esto, GTM pronostica una caída de los costos de SFV de 32% en promedio, del segundo semestre de 2017 hacia el año 2022. Este año, la Annual Technology Baseline de NREL reportó algunas proyecciones futuras para algunas ciudades de Estados Unidos [80]; de acuerdo con los datos de su análisis, en promedio, para el período 2018-2025 se esperaría una caída del 67% en el gasto de capital en SFV con capacidades de 5 kW_p y una reducción del 74% en los SFV con capacidades de 300 kW_p.

4.2 Costo nivelado de energía

El **costo nivelado de energía (CNE)**, también denominado **costo nivelado de generación (CNG)** o **Levelized Cost of Energy (LCOE)**, es la valoración económica del costo del sistema de generación de electricidad, a valor presente, que incluye todos los costos a lo largo de la vida útil del proyecto: la inversión inicial, costos de operación y mantenimiento, el costo de capital, etc.

De una manera simple, el **CNE** se puede entender como el costo promedio total de construir y operar una central eléctrica por cada kWh generado durante su vida útil. Este parámetro económico es fundamental para valorar a cualquier tecnología de generación eléctrica, y en el caso de la **GDFV**, para compararla contra el precio de la electricidad de red.

4.2.1 Estimación del costo nivelado de energía para SFV-GD

Evaluando el **CNE** para **SFV-GD** considerando capacidades de 10 kW_p y 100 kW_p y los costos de inversión presentados en la Sección 4.1.1, se tendrían los valores de 0.12 y 0.09 USD/kWh, respectivamente (2.35 y 1.81 MXN/kWh, considerando un tipo de cambio de 20 MXN/USD). Véase la **Fig. 4-5**.

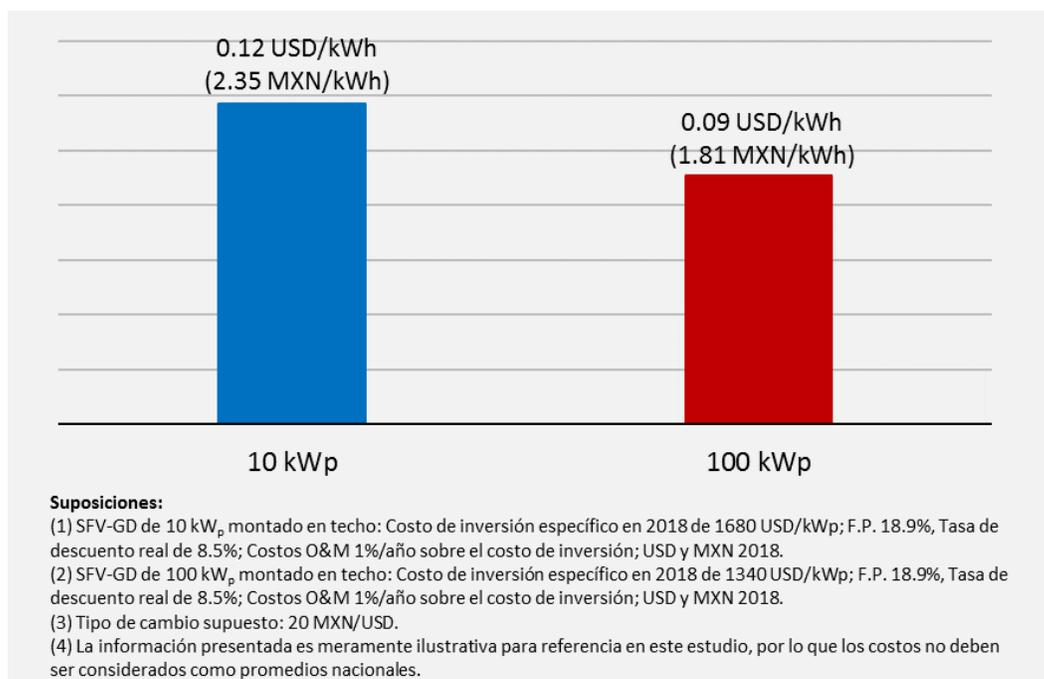


Fig. 4-5 Costo nivelado de energía para sistemas fotovoltaicos de generación distribuida.

4.2.2 Costo nivelado de energía de un SFV-GD contra el precio de electricidad de red

Es fundamental la comparación del **CNE** (o **LCOE**) de un **SFV-GD** contra el precio de electricidad de red, ya que es su competencia directa. En la gráfica de la **Fig. 4-6** se presenta este comparativo por rangos de **CNE** para **GD** no doméstica.

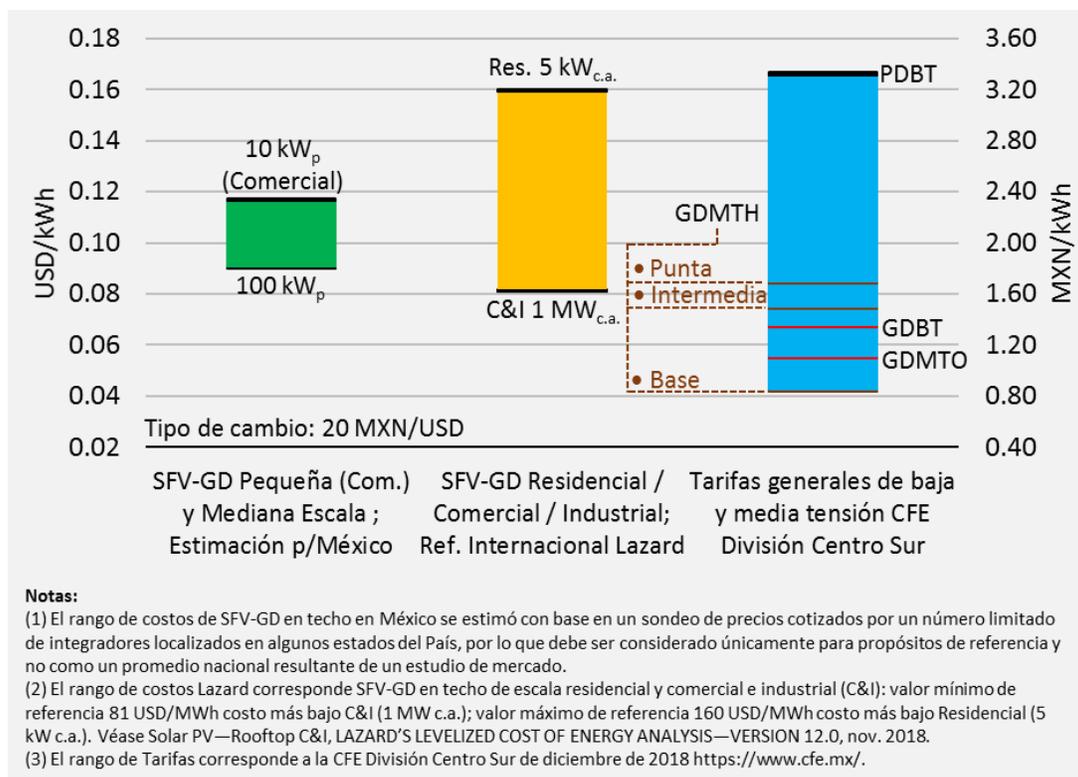


Fig. 4-6 Costo nivelado de energía de SFV-GD y precios de electricidad de red.

Se considera en primer término el rango de referencia utilizado en este estudio de **CNE** de **SFV-GD** con capacidades de 10 kW_p y 100 kW_p, típicas para aplicación comercial e industrial. Se hace la observación de que en aplicaciones residenciales para usuarios con tarifa **DAC**¹⁹, con sistemas menores que 10 kW_p, el margen de competitividad que resulta es muy favorable. En segundo término, se incluye el rango de precios para instalaciones de escala comercial, residencial e industrial con datos presentados por Lazard en su análisis de 2018 (V12.0). En tercer término, se presenta el rango de tarifas generales de baja y media tensión²⁰ correspondientes a la División Centro Sur de **CFE**, durante diciembre 2018. Como

¹⁹ Tarifa DAC= Tarifa doméstica de alto consumo.

²⁰ Tarifas: PDBT=Pequeña Demanda (hasta 25 kW-mes) en Baja Tensión (antes T-2, T-6); GDBT=Gran Demanda (mayor a 25 kW-mes) en Baja Tensión (antes T-3, T-6); GDMTH=Gran Demanda en Media Tensión horaria (antes T-HM, T-HMC, T-6); GDMTO=Gran Demanda en Media Tensión ordinaria (antes T-OM, T-6).

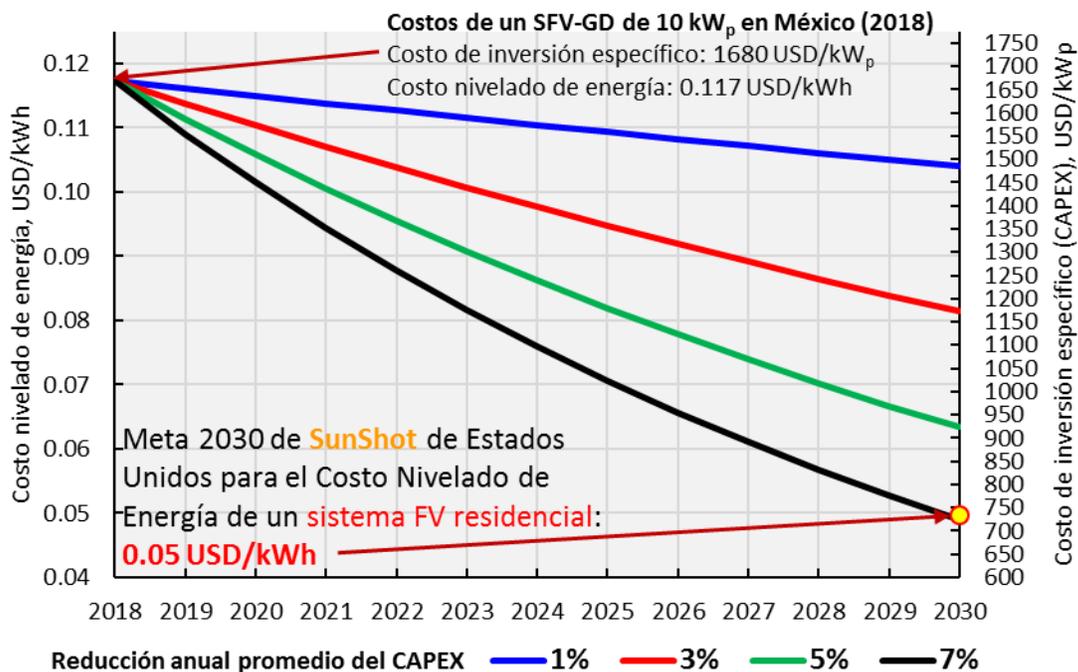
se observa, hay un rango de competencia muy claro en México del CNE de los SFV-GD con la tarifa PDBT. En tanto que, para el resto de este tipo de tarifas, el margen de competencia dependerá del cargo específico que se aplique en la localidad en cuestión.

En ocasiones, se hace este comparativo contra los CNE de centrales eléctricas centralizadas de otras tecnologías, lo cual es por demás incorrecto debido a, entre otras, las siguientes razones:

- El producto no es el mismo ya que una central de GD vende al menudeo y una planta centralizada vende al mayoreo.
- Los CNE de centrales eléctricas centralizadas no incluyen costos de transmisión y distribución.

4.2.3 Escenarios del costo nivelado a futuro

En la Fig. 4-7 se muestran cuatro escenarios hipotéticos de reducción de costos al 2030, tanto del costo nivelado de energía como del costo instalado o CAPEX (por sus siglas en inglés), para un SFV-GD de 10 kW_p, residencial o comercial pequeño, instalado en México.



Suposiciones: SFV-GD de 10 kW_p; Costo de inversión específico en 2018 de 1680 USD/kW_p; F.P. 18.9%, Tasa de descuento real 8.5%; Costos O&M 1%/año sobre el costo de inversión; USD 2018

Fig. 4-7 Escenarios de reducción de costos de un sistema fotovoltaico de generación distribuida de 10 kW_p en México al 2030.

Los escenarios se desarrollaron considerando tasas anuales promedio de reducción del costo instalado de 1%, 3%, 5% y 7%. En la figura también se indica la meta establecida para los Estados Unidos por la iniciativa SunShot. De manera similar, en la **Fig. 4-8** se muestran estos mismos escenarios para un **SFV-GD** de escala comercial de 100 kW_p, instalado en México.

Al respecto, se comenta que la iniciativa SunShot es un programa perteneciente a la Oficina de Eficiencia Energética y Energías Renovables, del Departamento de Energía (DOE, por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos, la cual, tiene como misión reducir el costo total instalado de los sistemas de energía solar, incluyendo los fotovoltaicos. Las metas anunciadas por SunShot en noviembre de 2016 [81] [82], para sistemas fotovoltaicos se establecen en términos del costo nivelado de energía como:

- 0.05 USD/kWh para sistemas fotovoltaicos residenciales
- 0.04 USD/kWh para sistemas fotovoltaicos comerciales.

Si bien en México no se cuenta con una meta semejante, es previsible que los esfuerzos del sector fotovoltaico vayan también en este sentido. Para llegar a este nivel de costos, se requeriría disminuir 7% anualmente, en promedio, el costo instalado de los **SFV-GD** tanto de pequeña como de mediana escala.

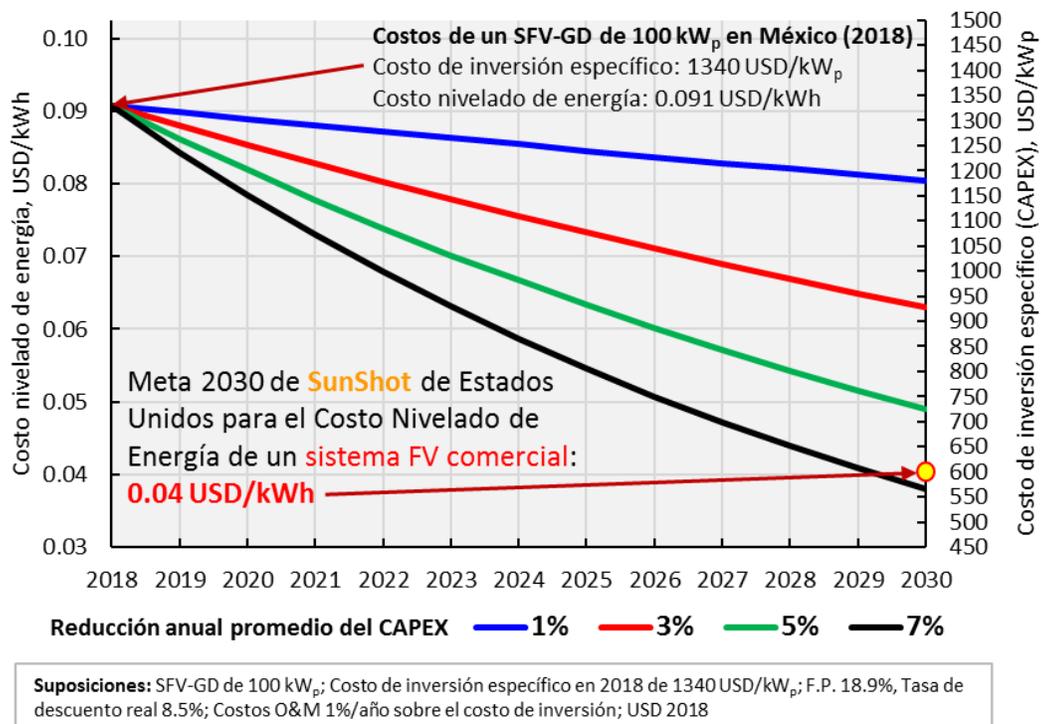


Fig. 4-8 Escenarios de reducción de costos de un sistema fotovoltaico de generación distribuida de 100 kW_p en México al 2030.

4.3 Valor de mercado

El valor de mercado expresa el mayor precio que un comprador pagaría y un vendedor aceptaría por un bien o servicio, en un mercado abierto y competitivo [83], el cual se puede establecer de manera simplificada en términos de su precio de mercado [84]. Como sugiere Porter [18], el valor de un producto es aquello que los clientes están dispuestos a pagar, esto es, el precio de venta del producto ofertado. En el caso de los **SFV-GD** y para efectos de este estudio, el valor de mercado se asume igual al precio de mercado o costo instalado.

4.3.1. Distribución del valor de mercado

En la **Tabla 4-1** se presenta, a manera de ejemplo, la distribución del valor de mercado para proyectos de **GDFV** tomando como referencia los valores de costo instalado presentados en la **Sección 4.1**. Como se observa, se identifica un mayor número de actividades de valor, muchas veces implícitas en el quehacer de una empresa integradora, pero que por sí mismas son constitutivas de oportunidades vistas como unidades de negocio internas o explotables de manera independiente.

La distribución general del valor de mercado puede separarse en tres grandes etapas: la **implementación del proyecto**, la **operación** y el **retiro**. La **implementación del proyecto**, a su vez, se puede subdividir en dos acciones de valor: **inversión** y **financiamiento**.

La **inversión** tiene que ver con el desarrollo y la ejecución del proyecto. En esta etapa se gesta el **desarrollo** del proyecto integrando las asignaturas de valor vinculadas a la asesoría técnica-comercial o venta técnica –formalmente pre-inversión, donde se formula el proyecto–, así como su planificación, gestión y administración. Posteriormente, durante la fase de ejecución, se identifican las acciones de **ingeniería**, **procura** y **construcción**, cuya realización, a ciertas escalas, llega a ser subcontratada con empresas especializadas en este campo, lo que se conoce como empresas EPC (por sus siglas en inglés).

La etapa de **ingeniería** incluye actividades tales como el análisis del sitio, el diseño y el proyecto ejecutivo. La **procura** comprende desde la gestión de la compra hasta la adquisición, propiamente dicha, de los materiales. En la fase de **construcción** se instala el sistema, y dependiendo del tipo de sistema de que se trate, se verifica y se inspecciona; culminándose con la interconexión, proceso en el cual puede haber erogaciones por requerimiento de obras o instalación de equipo de medición.

Se hace la observación de que, en el caso de proyectos de pequeña escala, no se asigna porcentaje de valor a la inspección toda vez que se considera, por efectos ilustrativos, que estos sistemas estarían interconectados en baja tensión. Tampoco se asigna valor a la interconexión bajo la suposición de que no hay requerimiento de obras ni de equipo de medición con costo al generador. En cuanto a los proyectos de mediana escala, sí se pondera el caso, muy probable, del requerimiento de verificación eléctrica, inspección, e inclusive, cabría un segmento de valor de las obras para la interconexión (no asignado en esta estimación).

Tabla 4-1 Estimación de la distribución del valor de mercado de proyectos de sistemas fotovoltaicos de generación distribuida.

VALOR DEL PROYECTO - Por capacidad unitaria del sistema							
Segmento			Pequeña escala 10 kW _p		Mediana escala 100 kW _p		
			Proporción	USD/W _p	Proporción	USD/W _p	
Gestión	Asesoría técnica-comercial (venta técnica)		0.9%	0.015	1.1%	0.015	
	Planificación y administración		0.9%	0.015	1.1%	0.015	
Ingeniería, Procura y Construcción (EPC por sus siglas en inglés)	Ingeniería	Análisis de sitio, dis. y proy.	2.2%	0.038	1.8%	0.025	
	Procura	Módulos	DAP + Ind.	42.0%	0.710	46.7%	0.640
		Inversores / Microinv. / Opt.	DAP + Ind.	20.7%	0.350	10.9%	0.150
		Estructura y acc. de montaje	DAP + Ind.	10.7%	0.180	12.4%	0.170
		Accesorios eléctricos y de inst.	DAP + Ind.	13.0%	0.220	13.1%	0.180
		Equipo de monitoreo	DAP + Ind.	0.0%	0.000	0.7%	0.010
		Gestión de compras	Indirecto	N/A	N/A	N/A	N/A
	Const.	Transporte e importación	Indirecto	N/A	N/A	N/A	N/A
		Instalación		8.3%	0.140	10.2%	0.140
		Pruebas de puesta en marcha		0.6%	0.010	0.4%	0.005
		Gestoría de verif., insp. e int.		0.1%	0.001	0.1%	0.001
Verificación eléctrica	Subcontrato	0.6%	0.010	0.7%	0.010		
Inspección	Subcontrato	0.0%	0.000	0.7%	0.010		
VALOR DE INVERSIÓN			100.0%	1.689	100.0%	1.371	
Segmento			Proporción sobre la inversión	USD/W _p	Proporción sobre la inversión	USD/W _p	
Gestoría financiera			1.0%	0.017	1.0%	0.014	
Apalancamiento financiero (costo real de capital)		100% deuda	7.5%	0.127	7.5%	0.103	
VALOR DE FINANCIAMIENTO			8.5%	0.144	8.5%	0.117	
O&M	Monitoreo		0.0%	0.000	0.1%	0.001	
	Evaluación / inspección del desempeño		0.0%	0.000	0.1%	0.001	
	Mantenimiento y limpieza		0.8%	0.014	0.8%	0.011	
Servicios colaterales	Seguros		2.0%	0.034	2.0%	0.027	
	Comercialización de la energía		0.5%	0.008	0.5%	0.007	
	Acreditación de CEL (Equivalente anual)		0.5%	0.008	0.5%	0.007	
VALOR ANUAL POR OPERACIÓN			3.8%	0.064	4.0%	0.055	
VALOR DE RETIRO - Por peso unitario de material retirado							
Segmento					USD/kg _f		
Desmantelamiento					0.200		
Transporte de materiales					0.100		
Reciclaje					0.200		
Gestión y disposición final de residuos no reciclables					0.500		
TOTAL					1.000		

Notas:

- (1) DAP = Delivered At Place (entregado en lugar, de destino convenido)
- (2) Ind. = Indirectos (gestión de compras, transporte e importación)
- (3) N/A = No aplica

El **financiamiento** es una acción que reviste un beneficio para el generador, pero también un costo amortizable por el mismo beneficio, tornándose en materia de valor para el financiador. El valor del financiamiento tiene que ver con el grado de “apalancamiento financiero”²¹ de los proyectos. En esta estimación, el “apalancamiento financiero” se asume como un 100% de deuda contraída, por lo que el valor del financiamiento equivale al costo de la deuda o tasa de interés real del crédito; descontando el costo de los servicios de gestoría procedentes. El “apalancamiento financiero” consiste en utilizar algún mecanismo (como deuda) para aumentar la cantidad de dinero que se puede destinar a una inversión. Desde la perspectiva contable, realizar un proyecto de **GDFV** con capital propio puede no ser lo más conveniente. Financiar un proyecto solar totalmente con capital propio, como cualquier otro proyecto de infraestructura, puede revestir una baja calificación en el portafolio de inversiones de la empresa [85]. Usualmente al financiar este tipo de proyectos con deuda se puede lograr una estructura de la inversión más adecuada, comparada al beneficio obtenido cuando el proyecto es financiado totalmente con capital propio.

La etapa de **operación** se valora en términos anuales, pero con base en una proporción referida a la inversión. Esta etapa considera a la **operación y mantenimiento**, propiamente dicho, así como un apartado de **servicios colaterales**. Como servicios de **operación y mantenimiento** se consideran el monitoreo, la evaluación e inspección del desempeño, el mantenimiento y limpieza. Cabe señalar que aquí no se han considerado los reemplazos. En cuanto a los **servicios colaterales** se han incluido los seguros, la comercialización de la energía (servicio a cargo de comercializadores registrados ante la **CRE**) y la acreditación de CEL (servicio a cargo de unidades acreditadas por la **CRE**).

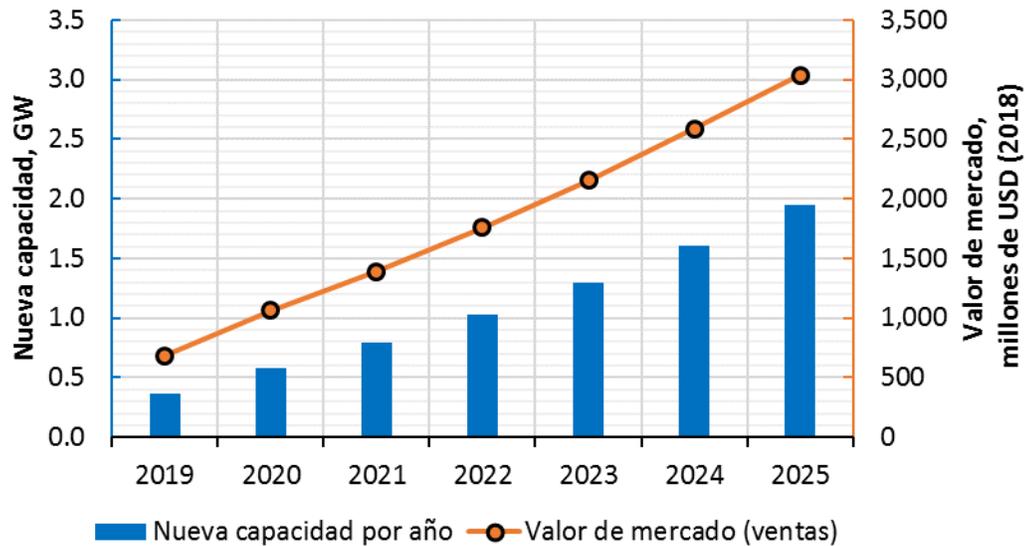
Por lo que corresponde al **retiro**, la valoración se hace por peso de material retirado, identificándose cuatro segmentos de valor: el desmantelamiento, el transporte de materiales, el reciclaje, y la gestión y disposición final de residuos no reciclables.

4.3.2. Distribución del valor de mercado

En la **Fig. 4-9** se presenta un escenario del valor de mercado de la implementación de proyectos de **SFV-GD** al año 2025, considerando una participación de ventas para sistemas con capacidades de pequeña escala (10 kW_p base) del 55% en promedio, y de mediana escala (100 kW_p base) del 45% en promedio. Este escenario considera un escenario medio de crecimiento, de acuerdo con las tendencias 2017 y 2018 proyectadas por la **CRE** [35].

Como se observa en la gráfica, durante 2019 la nueva capacidad agregada que se estima podría rondar los 370 MW (o 0.37 GW), lo que significaría alrededor de 680 millones de USD en ventas. Bajo esta misma tendencia, en el 2025 el mercado podría estar agregando más de 1.9 GW de nueva capacidad, equivaliendo a un volumen de ventas del orden de los 3,000 millones de USD.

²¹ El término en inglés para “apalancamiento financiero” es “financial leverage”.



Suposiciones: (1) Escenario medio derivado de las tendencias 2017 y 2018 de la CRE para GD; (2) Capacidad instalada FV equivalente al 98% de la capacidad instalada total en GD; (3) Reducción del costo instalado de 3% promedio anual; (4) Valor de mercado ponderado de 55% de ventas de sistemas con un costo instalado medio de 1689 USD/kW_p, estimado para un sistema de 10 kW_p, y 45% de ventas de sistemas con un costo instalado medio de 1371 USD/kW_p, estimado para un sistema de 100 kW_p; (5) La capacidad es en c.a., aplica una relación del desempeño de 80%.

Fig. 4-9 Proyección del valor de mercado 2019-2025 de sistemas fotovoltaicos de generación distribuida en México.

4.4 Margen bruto y valor agregado

En esencia el margen bruto MB es una medida porcentual del “grado” en que se agrega valor económico al transformar o combinar los bienes y servicios adquiridos para crear un producto [71], definiéndose como:

$$MB = \frac{PVI - CABS}{PVI} \times 100\% \quad (1)$$

PVI el precio de mercado o precio de venta del producto ofertado al cliente, y CABS es el costo de los insumos, esto es, el costo de adquisición de bienes y servicios requeridos para crear el producto ofertado.

Al diferencial PVI - CABS se le denomina beneficio bruto o valor agregado:

$$\text{Valor agregado} = \text{Beneficio bruto} = PVI - CABS \quad (2)$$

El concepto de “valor agregado” se utiliza para referirse a los efectos económicos que surgen en todos los pasos del ciclo de vida de un producto o servicio.

Combinando las ecuaciones (1) y (2), el valor agregado se puede expresar en términos del MB y el PVI como sigue:

$$\text{Valor agregado} = \text{MB} \times \text{PVI} \quad (3)$$

Como antecedente del parámetro de valor agregado relativo a la industria **FV** que subyace en México, se puede referir el estudio del INECC (preparado con la colaboración de Boston Strategies International) [86]. El estudio del INECC refiere la cadena de valor **FV** a la generación de gran escala, y la segmenta en cuatro eslabones principales con la aportación de valor siguiente: planificación 2%, manufactura 75%, instalación 15% y operación y mantenimiento 8%.

Otro estudio a considerar es el reporte de ProMéxico, ya citado op. cit. [5], con información del CEMAC de los Estados Unidos [87]. En este caso, se señala que en 2014, en nuestro País, el valor agregado por concepto de manufactura de **MFV** de silicio cristalino fue de 367 millones de USD.

4.4.1 Márgenes brutos en las cadenas de valor de los componentes

Si bien, la información pública disponible en México sobre MB de las cadenas de valor de los insumos, esto es, de los componentes de **SFV-GD**, es limitada, a nivel internacional, por el contrario, se cuenta con datos abundantes.

A continuación, se presentan y discuten MB que se reportan en el contexto internacional para fabricantes de módulos FV, equipos de acondicionamiento de potencia, accesorios eléctricos (cable solar, conectores, cajas de conexiones, dispositivos de protección, interruptores, etc.) y estructuras de montaje. Estos valores están contextualizados por el origen del fabricante, pero son una referencia significativa que se debe tener en cuenta por el contexto global propio del mercado **FV**.

MB de módulos FV. El MB promedio anual de la fabricación de módulos FV, en 2010, llegó a ser casi del 30%, sin embargo, para finales de 2017 cayó a valores apenas superiores al 10%; véase [88]. A costos actuales del orden de menos de 0.4 USD/W_p [89], es de esperarse en el futuro márgenes de ganancia aún menores. No obstante, en 2018 se ha observado una mejoría; durante el tercer trimestre, JinkoSolar Holding Co. Ltd's, fabricante chino, reportó

un MB del 14.9% [90], en tanto que First Solar, de los Estados Unidos, registró para el mismo trimestre un MB del 18.83% [91].

MB de equipos de acondicionamiento de potencia. La manufactura de inversores, microinversores y optimizadores reporta MB mayores que la correspondiente a módulos **FV**. En 2011, en la India, el MB se llegó a estimar en 100% [92]. Sin embargo, en la actualidad, con la incorporación de las nuevas tecnologías y fabricantes asiáticos, el MB se ha reducido sustancialmente. SolarEdge, fabricante israelita de optimizadores e inversores, inició con 11.9% en 2013 subiendo a 35.4% en 2017 [93]. En tanto que SMA, fabricante alemán líder en el mercado de inversores, reportó durante 2017 un MB del 22.4% y en el tercer trimestre de 2018 de 20.03% [94].

MB de accesorios eléctricos. En cuanto a los MB que exhiben fabricantes de accesorios eléctricos los valores son relativamente altos. Por ejemplo, TE Connectivity fabricante de conectores y cajas de conexión reportó un MB anual de 33.92% a septiembre de 2018 [95], en tanto que Schneider Electric SE, fabricante de diversos accesorios eléctricos como interruptores y protecciones, reportó para 2017 un MB de 38.39% [96]. En lo que respecta al cable solar, en particular, su producción está vinculada a la industria de cables eléctricos en general, por lo que es de esperarse que la venta específica de este componente refleje al menos el MB global de la compañía en cuestión. Puede citarse a manera de ejemplo, que en los Estados Unidos la empresa General Cable Corp. [97] reportó para 2017 un MB promedio de 11.10% y durante el primer trimestre de 2018 un MB de 10.36%, en tanto que Encore Wire reportó 14.02% al tercer trimestre del mismo año [98].

MB de estructuras y accesorios de montaje. No se cuenta con información del MB de fabricantes de estructuras y accesorios de montaje en techo para escala residencial o comercial. Sin embargo, GTM Research [99] analiza el caso del negocio de estructuras para gran escala, observando una caída en su precio de ~0.25 USD/W_p a menos de 0.07 USD/W_p, y similarmente, una reducción del MB de 30% a un solo dígito.

4.4.2 Márgenes brutos en segmentos de la cadena de valor de proyectos

Típicamente, los negocios integrados verticalmente²² suelen retener todos los segmentos de la cadena de valor y suponer, en ciertos casos, ventajas de costo ya que se reducen o eliminan los MB de los segmentos intermedios. Al respecto se puede citar como ejemplo la estrategia de integración vertical seguida en su momento por SolarCity (adquirido por Tesla), y el caso de Vivint en los Estados Unidos [100]. En contraste, Sunvest Solar, Inc., también de los Estados Unidos, ha seguido un modelo de desarrollador o contratista general con subcontratación de instaladores locales independientes [101].

²² En un modelo de negocio de integración vertical la empresa ejecuta todas las actividades requeridas para la producción de un producto.

Cada segmento de la cadena de valor es susceptible de subdividirse en áreas de negocio independientes. En principio, la cadena de valor de **SFV-GD** se ha separado segmentos principales: el desarrollo o integración, la ingeniería (E), procura (P) y construcción (C), y la operación y mantenimiento. Por ejemplo, un desarrollador puede subcontratar a una empresa EPC y requerir de manera específica cualquiera de sus componentes de negocio o una combinación de ellos (E, P, C, E+P, E+C, etc.).

MB de desarrollo. Refiriéndose al desarrollo o integración completa de los sistemas, en el ámbito de los Estados Unidos se pueden mencionar varios indicadores: es significativo que SolarCity, al finalizar 2016, haya logrado un MB cercano al 43% [102]; sin embargo, en 2018 NREL reporta en sus costos de referencia del primer trimestre de 2018 un MB del orden del 12% para un instalador **FV** op. cit. [78], en tanto que en el tercer trimestre de este mismo año Vivint Solar reportó un MB del 15.65% [103].

MB de ingeniería, procura y construcción. Con respecto a la ingeniería, procura y construcción, la guía web Solar Mango de la India considera MB del orden del 20% para compañías EPC dedicadas a sistemas **FV** montados en techo [104]. En otras latitudes como Australia, se realizó en 2017 una encuesta a instaladores **FV** la cual arrojó como resultado que sus utilidades son inferiores a las de instaladores eléctricos generales [105]. En el ámbito de los Estados Unidos, EMCOR, un subcontratista eléctrico mayor, obtuvo en 2017 y 2018 MB de 13 a 15% [106].

4.4.3 Valor agregado en las cadenas de valor de componentes

El valor agregado específico (USD/W_p) en las cadenas de valor de componentes, se puede estimar con base en precios al mayoreo (mercado spot), o bien, precios de fábrica, y aplicando valores de MB de referencia del contexto internacional, dentro de los rangos examinados en la **Sección 4.4.1**.

En la **Fig. 4-10** se presenta una estimación del valor agregado específico para componentes principales de un sistema **FV**, de acuerdo con lo siguiente.

- **MFV.** Se consideró como valor de mercado el precio spot 2018 reportado por Jinko Solar en $0.31 \text{ USD}/W_p$ para el primer trimestre de 2018 (Q1) [107].
- Equipo de acondicionamiento de potencia (inversores, microinversores y optimizadores). Se consideró como valor de mercado el precio de fábrica (Factory Gate Price) de inversores para escala residencial o comercial pequeña referido por NREL op. cit. [107], de $0.15 \text{ USD}/W$ -c.a. al iniciar 2018.
- El valor de mercado de accesorios eléctricos y de la estructura de montaje, se basa en precios de lista medios de acuerdo con lo presentado en las **Secciones 4.1.1 y 4.1.2**.
- Los valores supuestos para los MB fueron: módulos **FV**, 15%; inversores, microinversores y optimizadores, 20%; accesorios eléctricos, 30%; y estructura y accesorios de montaje, 10%.

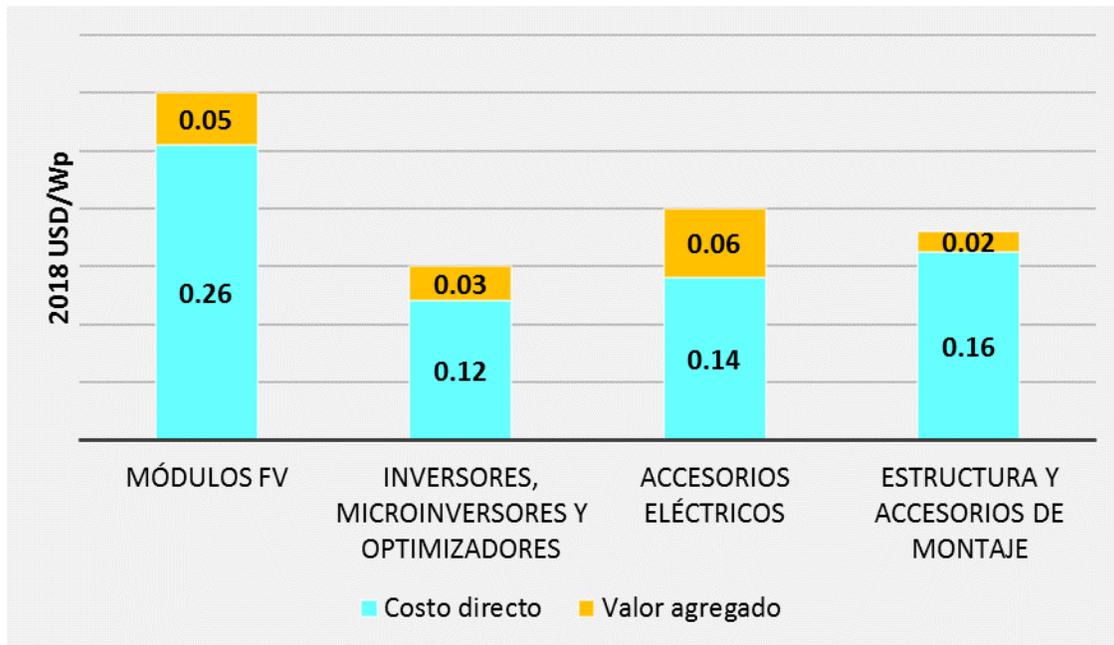


Fig. 4-10 Valor agregado específico en las cadenas de valor de componentes de sistemas fotovoltaicos de generación distribuida, con base en precios al mayoreo (spot).

4.4.4 Valor agregado en la cadena de valor de proyectos

El valor agregado específico en torno a la implementación de proyectos de **SFV-GD** se puede estimar en términos de un MB de referencia supuesto para cada segmento o unidad de negocio, y asumiendo los valores de costo instalado presentados en la **Sección 4.1**. Bajo estas consideraciones, se presentan los escenarios de la **Fig. 4-11**, para pequeña escala (considerando una capacidad base de 10 kW_p), y de la **Fig. 4-12**, para mediana escala (considerando una capacidad base de 100 kW_p).

- Se supusieron valores de MB para cada segmento de la cadena del proyecto. Cada segmento se asume como una unidad de negocio con un valor de mercado propio, y un costo directo específico que puede ser interno, o externo, si se subcontrata. Los MB supuestos fueron los siguientes:
 - Gestión del proyecto, incluyendo venta y administración, 40%;
 - ingeniería 40%;
 - procura 5%; y
 - construcción 25%.
- Los MB totales resultantes fueron: para el sistema de pequeña escala de 10 kW_p, 8%, y para el sistema de mediana escala de 100 kW_p, 9% (valores redondeados).

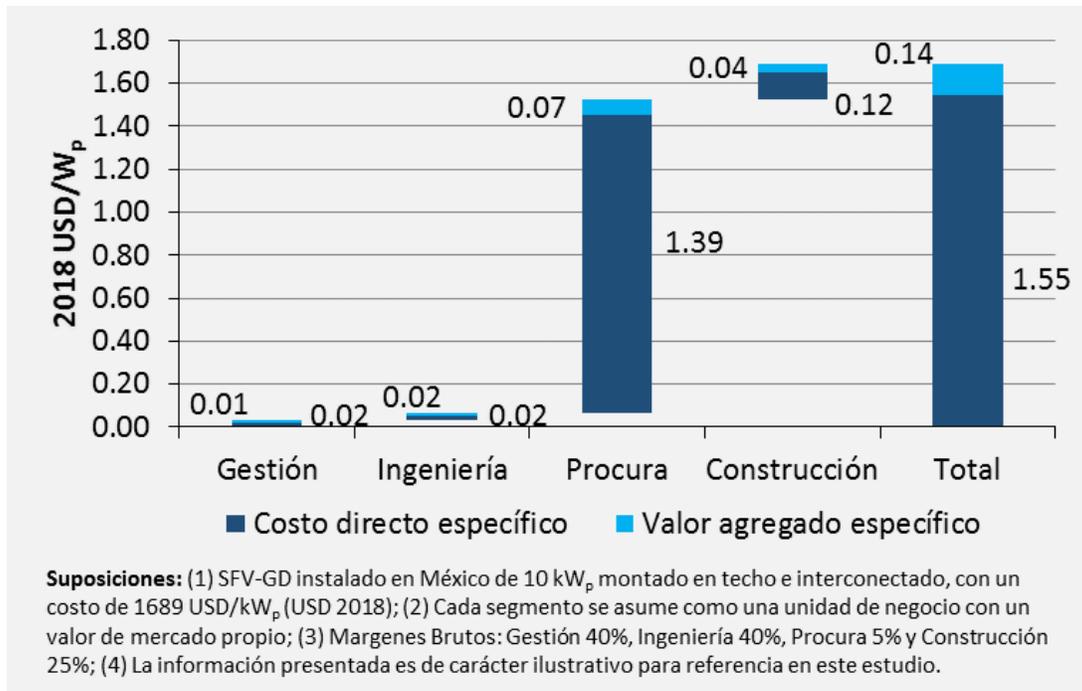


Fig. 4-11 Valor agregado específico en la cadena de valor de proyectos de sistemas fotovoltaicos de generación distribuida de pequeña escala.

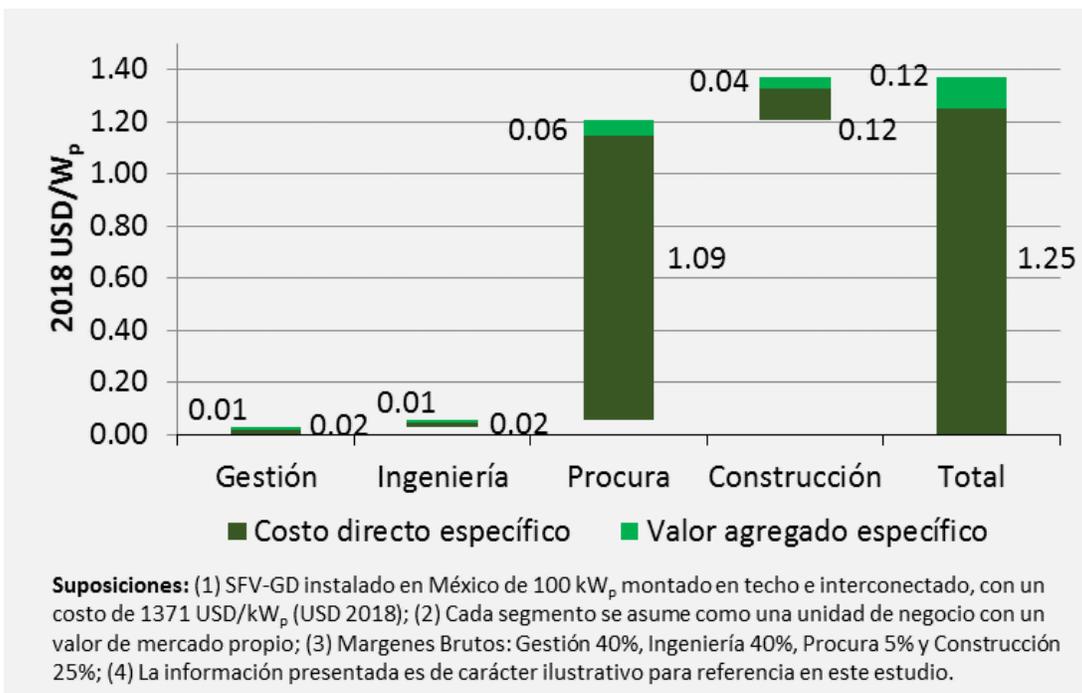


Fig. 4-12 Valor agregado específico en cadena de valor de proyectos de sistemas fotovoltaicos de generación distribuida de mediana escala.

En la **Fig. 4-13** se presenta un escenario del valor agregado en el País, por segmento, de la implementación de proyectos de **SFV-GD** para un escenario de ventas anuales de 350 MW_p utilizando los valores agregados específicos antes considerados. Como dato adicional, la nueva capacidad agregada en **GD** al finalizar 2018 fue de 233 MW de acuerdo con información de la CRE [35]. Se resalta que este escenario no presenta el valor agregado de los segmentos atribuibles a las cadenas de valor de componentes.

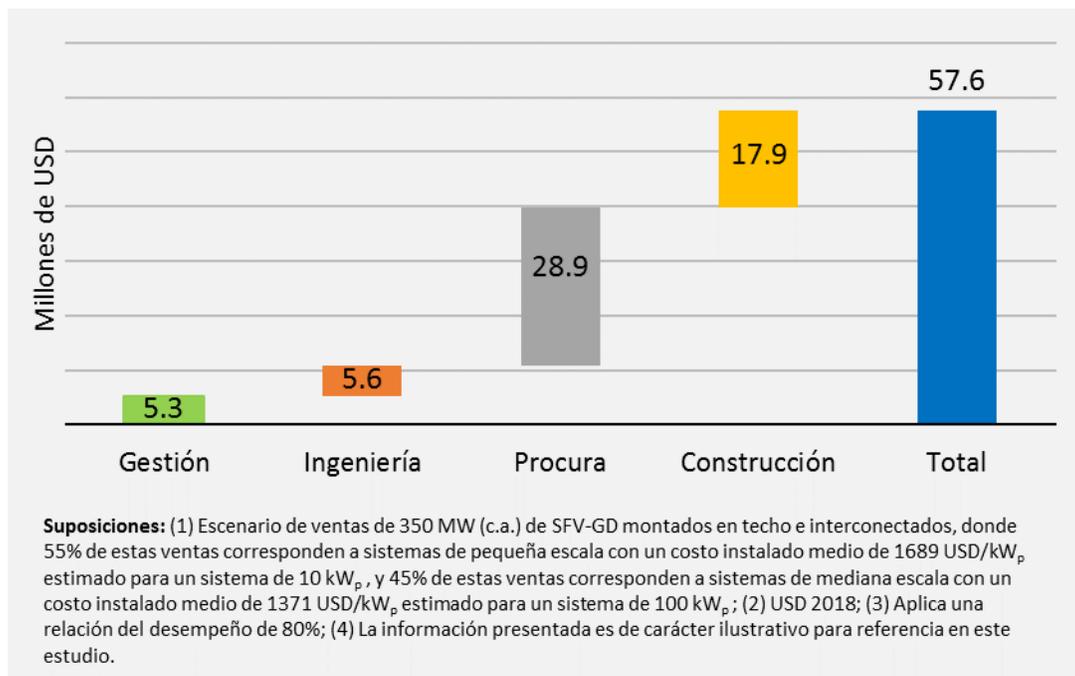


Fig. 4-13 Escenario de valor agregado por implementación de proyectos de sistemas fotovoltaicos de generación distribuida en el País.

4.5 Creación de empleos

De acuerdo con el reporte anual 2018 realizado por la IRENA, el número de empleos en la industria fotovoltaica mundial ascendió a 3.4 millones en 2017 [108]. En el caso de México, en el mismo reporte se informó de un total de 87,681 empleos en energía renovable, de los cuales, según datos de la SENER, 10,940 empleos correspondieron a la industria solar fotovoltaica en 2017. Esta última cantidad representó un aumento del 55% respecto al año 2016, según lo reportado en [109].

Por su parte, la consultora PwC, en colaboración con otras organizaciones, presentó el *Plan para el desarrollo integral de las energías renovables en México 2013-2018* op. cit. [1], donde se ponderó, entre otras cosas, el impacto en la creación de empleos²³ que tendría la instalación de la capacidad necesaria para alcanzar ciertos niveles de generación eléctrica basada en energía solar FV²⁴. Uno de sus resultados permitió aseverar que la instalación de 0.5 GW_p en SFV-GD implicaría la creación de cerca de 5,700 nuevos puestos de trabajo. Es decir, el equivalente a 11.4 empleos nuevos por cada megawatt instalado en **GDFV**.

Considerando este índice y la proyección de la capacidad instalada en **GDFV** presentada anteriormente en la **Fig. 1-7** para el período 2018-2025, fue posible estimar la creación de nuevos empleos en el País. Por mencionar algunos años, se hablaría de casi 3,500 empleos generados en este año y más de 25,000 empleos nuevos para 2025 como se ilustra en la **Fig. 4-14**.

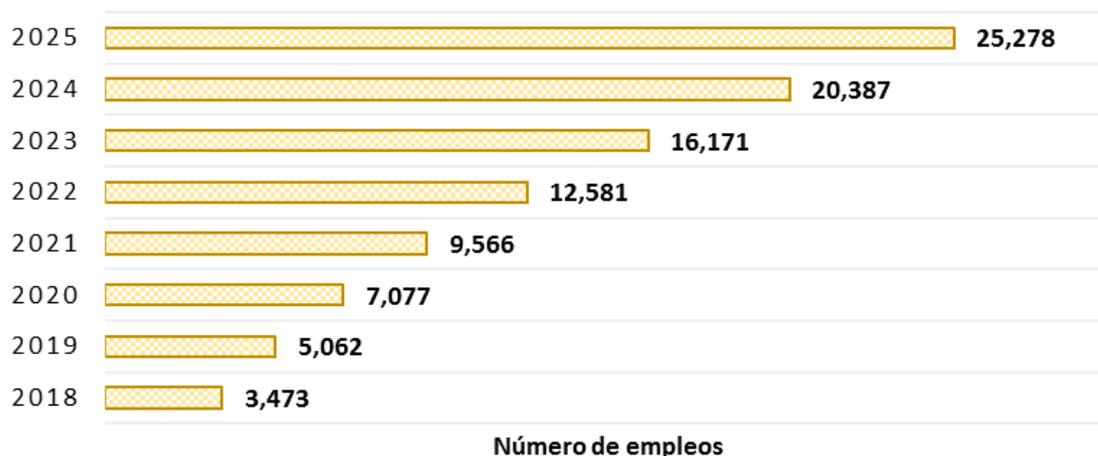


Fig. 4-14 Pronóstico de creación de nuevos empleos en toda la cadena de valor de la generación distribuida fotovoltaica en México.

Fuente: Elaboración propia basada en proyecciones de la CRE [34] y PwC México [1].

²³ Empleos directos, indirectos e inducidos. Consulte el glosario.

²⁴ Para conseguir esta evaluación, los autores usaron una metodología de cuantificación de impactos económicos basada en matrices de Insumo-Producto; un modelo usado en otras naciones [128] [130] [130].

Luego de analizar los resultados de PwC [1], fue posible aproximar la distribución de los empleos generados en la GDFV como se muestra en la **Fig. 4-15**. De aquí se puede rescatar lo siguiente:

- El 47% de los empleos estarían relacionados con trabajos especializados en la integración.
- El 14% de los empleos estarían involucrados en la fabricación.
- Sólo el 9% de los empleos se constituiría por personal dedicado a actividades profesionales, científicas y técnicas.
- Un 7% de los empleos se ocuparía en el área de comercio.

Con esto, se presume que la creación de empleos en la GDFV tiene un impacto mayor en las empresas que ejecutan los proyectos de SFV. Esta aseveración confirma el hecho de que el mayor número de empresas en la GDFV corresponda a aquellas que se dedican a la integración de SFV.

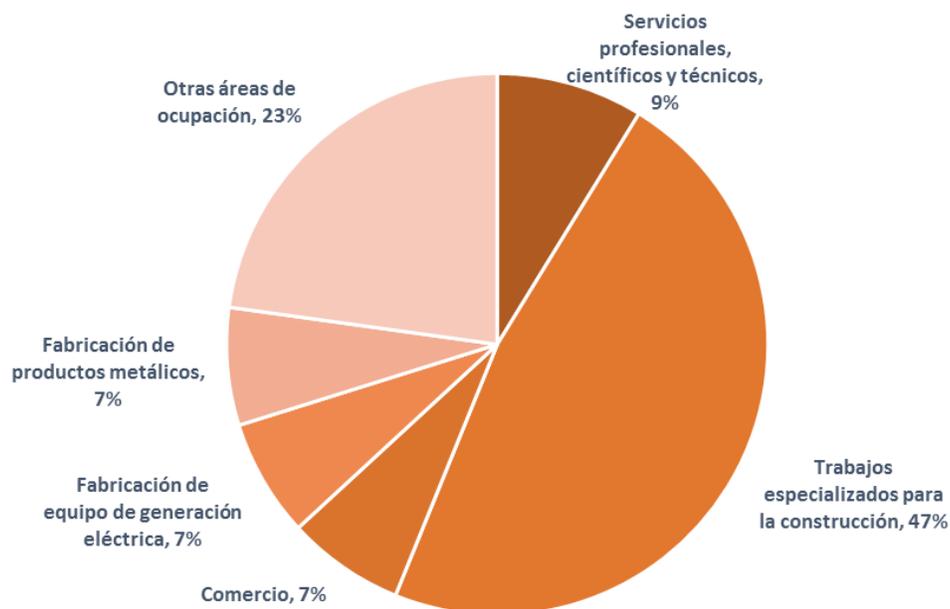


Fig. 4-15 Distribución de empleos por áreas de ocupación en la cadena de valor de la generación distribuida fotovoltaica en México.

Fuente: Elaboración basada en datos de PwC México [1].

En un sondeo reciente, **ICM** condujo una encuesta de mercado dirigida a empresas involucradas en la **GDFV** en México [61]. Del conjunto encuestado, 38 empresas dedicadas a la integración de sistemas dieron a conocer el número de empleados que contratan y subcontratan para su operación.

Usando la información de la encuesta y conforme a la clasificación establecida por **ICM**, en este estudio se llegó a los siguientes resultados:

- Las personas contratadas en esas empresas suman un total de 611, de las cuales el 30% desempeña labores de instalación, el 22% se dedica a las ventas, el 19% se ubica en el área de ingeniería y el 17% realiza tareas de administración (ver **Fig. 4-16**).
- Durante un año, las mismas empresas subcontratan a 550 empleados en total, de los cuales el 61% es requerido para trabajos de instalación, el 14% hace tareas de ventas, el 7% desempeña actividades de ingeniería y el 6% se dedica a la administración (ver **Fig. 4-17**).

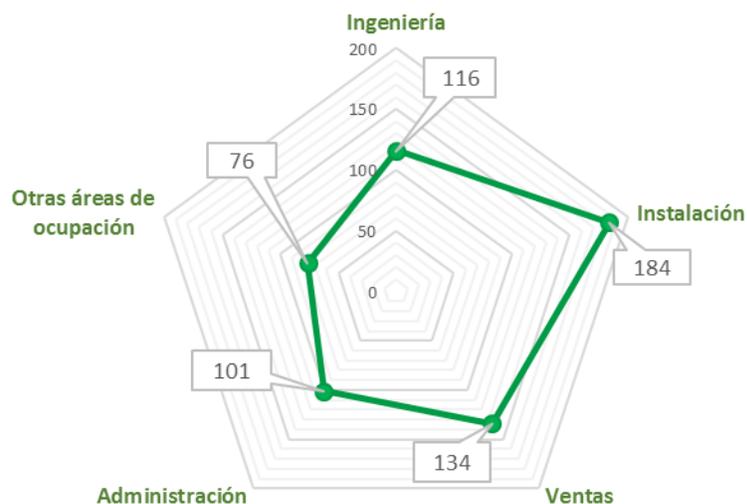


Fig. 4-16 Empleos contratados en 38 empresas dedicadas a la integración de sistemas.

Fuente: Elaboración con datos de encuesta elaborada por **ICM** [61].

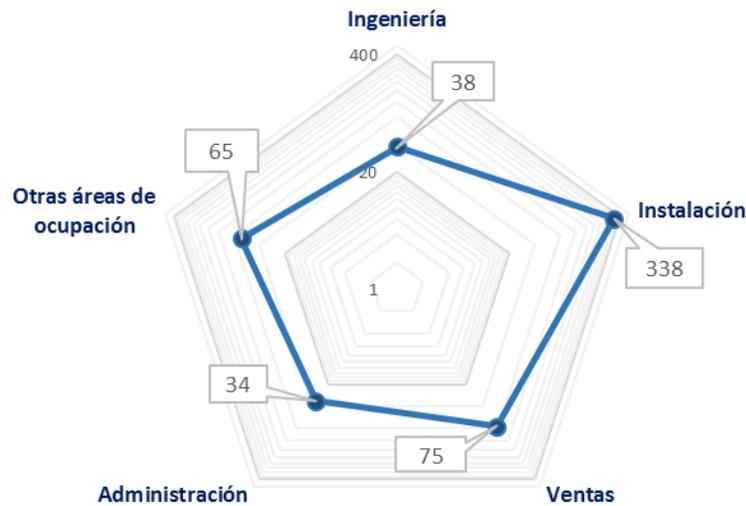


Fig. 4-17 Empleos subcontratados durante un año en 38 empresas dedicadas a la integración de sistemas.

Fuente: Elaboración con datos de encuesta elaborada por ICM [61].

De estos resultados se desprende que estas integradoras son empresas pequeñas ya que, en promedio y por empresa:

- El número de personas contratadas es de 17.
- El número de personas subcontratadas en un año es de 15.

Asumiendo que la cantidad de empleados contratados (**Fig. 4-16**) por las empresas tiene una permanencia mínima de un año, durante el cual se subcontrata el número adicional de empleados mostrado en la **Fig. 4-17**, entonces es posible aseverar que, en dichas empresas, durante un año:

- El 13% de los empleos generados desempeña actividades de ingeniería.
- Un 45% de las personas ocupadas se dedica a labores de instalación.
- El 18% de los trabajadores realiza tareas de ventas.
- Un 12% de los empleados se ubica en actividades de administración.

Es decir, en la integración de sistemas el 58% del personal es requerido para las áreas de ingeniería e instalación. Además, en la mayoría de las áreas de ocupación, más de la mitad de los trabajadores realizan sus actividades bajo contrato directo; excepto en el área de instalación donde el 65% de los trabajadores es subcontratado. Ver **Fig. 4-18**.

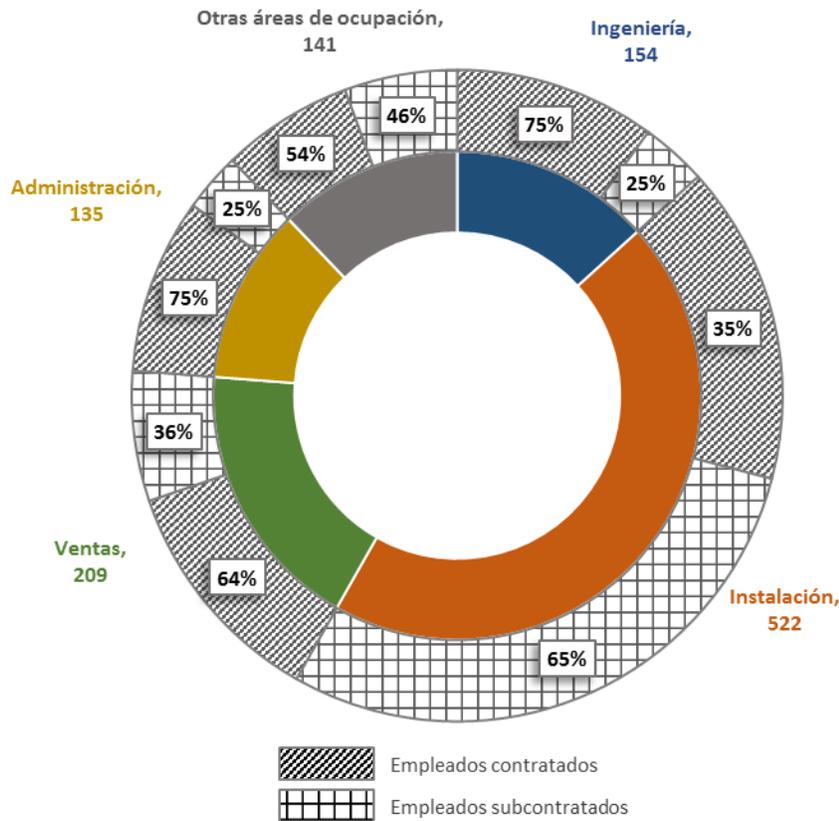


Fig. 4-18 Distribución de los empleos en 38 empresas dedicadas a la integración de sistemas.

Fuente: Elaboración con datos de encuesta elaborada por ICM [61].

Por otro lado, el crecimiento en la creación de empleos podría verse afectado por la posible introducción de nuevas tecnologías que agilicen o automaticen algunas tareas y, al mismo tiempo, eliminen la necesidad de labores humanas. Mientras tanto, las actuales capacidades humanas están siendo aprovechadas y se continúan fortaleciendo.

En México existen mecanismos para evaluar las capacidades técnicas del personal que labora en el ramo de las energías renovables. Estos mecanismos se reúnen en un conjunto de Estándares de Competencia en Energías Renovables y Eficiencia Energética emitidos por el Consejo Nacional de Normalización y Certificación de Competencias Laborales (CONOCER). Entre estos se encuentra el estándar EC0586 (actualizado a EC0586.01) bajo la denominación de Instalación de sistemas fotovoltaicos en residencia, comercio e industria [110].

De acuerdo con el informe de Avances y Resultados 2017 del Programa Especial de la Transición Energética, de 2014 a febrero de 2017 se certificaron 2,366 personas en ocho Estándares de Competencia [111]. De acuerdo con ProMéxico y GIZ op. cit. [5], en 2017 se contabilizaron 668 personas certificadas en el estándar EC0586.

Retomando la encuesta realizada por ICM op. cit. [61], se encontró que de todas las empresas integradoras encuestadas (**Fig. 4-19**):

- El 13% de los empleados contratados está certificado en el estándar EC0586.01; en promedio, cada empresa tiene tres empleados contratados que cumplen con la certificación.
- Cerca del 9% de los empleados subcontratados cuenta con la certificación del EC0586.01; en promedio, cada empresa cuenta con dos empleados subcontratados que están certificados.

Bajo los supuestos de que 1) el personal –contratado y subcontratado– que se ha certificado se desempeña en el área de Instalación de las empresas encuestadas y 2) que sólo esta área de ocupación está obligada a certificarse, entonces se hablaría de un índice de certificación del 24.5%, un porcentaje aún bajo.

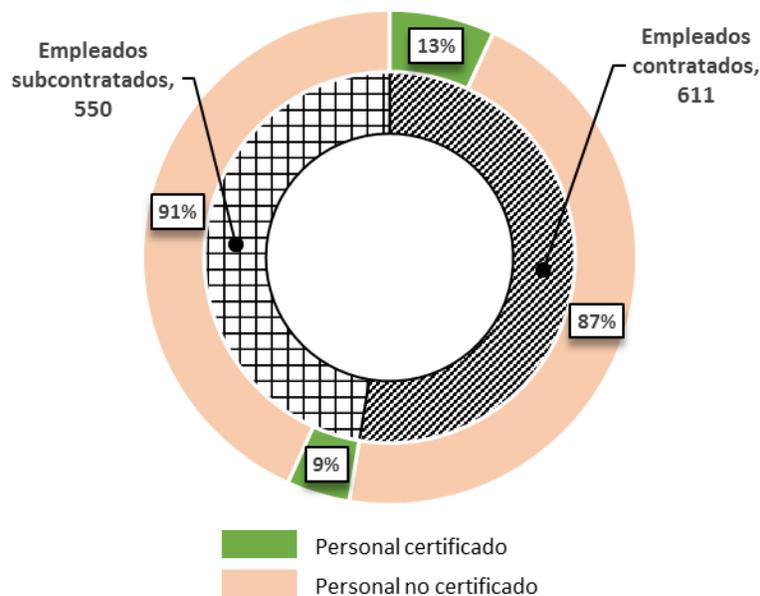


Fig. 4-19 Personal certificado en el estándar EC0586.01 en 38 empresas integradoras.

Fuente: Elaboración con datos de encuesta elaborada por ICM [61].

4.6 Contenido nacional: discusión y balanza comercial

El **contenido nacional** es un indicador utilizable en como métrica de una cadena de valor industrial. De acuerdo con Sherry Stephenson del Centro Internacional para el Comercio y el Desarrollo Sustentable (International Centre for Trade and Sustainable Development, ICTSD) [112], los requisitos de **contenido nacional**, e inclusive local, son medidas políticas que requieren que un cierto porcentaje de los bienes intermedios utilizados en los procesos de producción procedan de fabricantes locales. Los requisitos de contenido nacional en políticas de energía renovable sirven para dos propósitos:

- (1) como precondition para recibir incentivos del gobierno;
- (2) como criterio de selección para la contratación pública.

En el contexto actual de la política pública nacional relativa a la generación eléctrica no está establecido un requisito de **contenido nacional** para ninguno de estos propósitos, siendo reservada su regulación como criterio para la contratación pública en la transmisión y distribución, por ser actividades consideradas estratégicas para el Estado de acuerdo con el Artículo 2 de la **LIE** op. cit. [6]. Su medición y reporte se realiza de acuerdo con la metodología establecida para la transmisión y distribución de energía en el “*Acuerdo por el que se establece la Metodología para la medición del grado de contenido nacional en las asociaciones y contratos para las actividades de construcción e instalación de obras y proyectos de ampliación y modernización de la infraestructura para prestar el Servicio Público de Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica*” [113].

La determinación del **contenido nacional** como indicador en la cadena de valor de la **GDFV** no es viable hasta en tanto no se establezca y regule este requisito, o bien, se adopte por el sector a través de las cámaras o asociaciones una metodología semejante. El cálculo del contenido nacional requiere de datos precisos sobre el precio de las ventas de los sistemas, e información específica de los servicios y mano de obra involucrados.

4.6.1 Discusión: pros y contras de un requisito de contenido nacional

La implementación de un requisito de **contenido nacional** mínimo en los **SFV-GD** entraña argumentos a favor y en contra como los que se presentan a continuación.

Argumentos a favor

Según Kuntze and Moerenhout [114], la introducción de este requisito en políticas industriales con enfoque de sustentabilidad tiene cuatro motivos:

- *Aumenta el apoyo público a proyectos de energía renovable.* Se detonan corrientes de apoyo en la industria y la investigación locales.
- *Promueve la protección de la incipiente industria de las energías renovables, especialmente en los países en desarrollo.* Se potencializa la oportunidad para la

innovación doméstica y que la industria manufacturera local pueda ser competitiva internacionalmente.

- *Crea puestos de trabajo “verdes”, especialmente en los países desarrollados.* Al requerirse que las empresas utilicen un cierto porcentaje de insumos locales verdes, la industria de energías renovables crecerá en el corto plazo, y en consecuencia la oferta de nuevos puestos de trabajo.
- *Genera beneficios ambientales a mediano plazo.* Al incentivarse la creación de empresas locales exportadoras, surgen nuevos jugadores en el mercado internacional, fomentándose la innovación y la competencia con los combustibles fósiles.

Una opinión al respecto ha sido presentada por la revista mexicana *Energía Hoy* al abordar el tema [115], de la cual, se recupera lo siguiente: “fomentar la industria nacional no es un tema de nacionalismos, es un tema de estabilidad social, es por eso que deberemos ser creativos para desarrollar incentivos e incrementar el contenido nacional en las áreas prioritarias del sector de energía”.

Argumentos en contra

- *Ineficiente distribución de los recursos.* Se provoca que las empresas inviertan sus recursos en insumos locales para mejorar artificialmente la competitividad de los propios insumos, en detrimento de la calidad y precio de los productos finales.
- *Mayores precios de la energía.* Se puede derivar en mayores costos de generación eléctrica al no utilizarse insumos de calidad a menor precio.
- *Cuestionable creación de empleos verdes.* Si se tienen mayores costos de insumos, el crecimiento de la generación eléctrica con renovables es potencialmente menor y la creación de empleos se vuelve incierta.
- *Impacto negativo en el comercio.* Dependiendo del porcentaje de contenido local requerido, se desalientan las importaciones extranjeras y se puede llegar a eliminar la competencia entre empresas nacionales y extranjeras.

Veredicto

La emisión de un veredicto sobre la aplicación de una política pública de **contenido nacional** en torno a la **GDFV** y la implementación de un registro oficial de datos para su medición está fuera del alcance de este estudio. Sin embargo, si es posible recomendar la incentivación de mecanismos que impulsen la manufactura de insumos de origen nacional y, en consecuencia, el crecimiento de la industria mexicana de materiales y componentes de **SFV-GD**.

4.6.2 Balanza comercial

La **balanza comercial** de un país proporciona información sobre las exportaciones e importaciones de un producto que se llevan a cabo en un período determinado, por lo que puede considerarse como una primera aproximación al indicador de **contenido nacional**, y es lo que se presenta en este apartado para México, en materia de celdas y **MFV**.

En México, el valor de las importaciones y exportaciones de productos lo reporta la **SE** a través del **Sistema de Información Arancelaria Vía Internet (SIAVI)** [116]. En lo que concierne a celdas y **MFV**, se presenta la información del **SIAVI** como se describe a continuación.

En 1988 se introduce la fracción arancelaria **8541.40.01** en términos de *“reconocibles de naves aéreas”*, siendo modificada en 1993 para cubrir *“dispositivos semiconductores fotosensibles, incluidas las células fotovoltaicas, aunque estén ensambladas en módulos o constituyan paneles; emisores de luz”*, con exención de pago de impuestos a las importaciones de Estados Unidos y Canadá. En 1988, se introducen las fracciones arancelarias **8541.40.02**, aplicable a *“Diodos emisores de luz”*, y **8541.40.03**, aplicable a *“Células fotoeléctricas incluso las solares.”*

En 2012, mediante Decreto [117], se modifican las fracciones arancelarias **8541.40.01**, **8541.40.02** y **8541.40.03**, exentando del pago de impuestos a la importación y exportación, como se especifica en el recuadro siguiente.

Fracciones arancelarias aplicables a celdas y MFV

- **Fracción arancelaria 8541.40.01.** Última modificación 2012.
Dispositivos semiconductores fotosensibles, incluidas las células fotovoltaicas, aunque estén ensambladas en módulos o paneles; diodos emisores de luz, excepto los comprendidos en las fracciones 8541.40.02 y 8541.40.03.
- **Fracción arancelaria 8541.40.02.** Última modificación 2012.
Células solares fotovoltaicas; excepto las comprendidas en la fracción 8541.40.03.
- **Fracción arancelaria 8541.40.03.** Última modificación 2012.
Ensamblados en módulos o paneles de células fotovoltaicas.

“Dicha reclasificación se realizó con el objetivo de establecer una nomenclatura arancelaria para la importación de dichos equipos, que diera certidumbre jurídica a la inversión, mejorara las condiciones de libre competencia y libre concurrencia, además de brindar acceso a insumos para abastecer el mercado nacional. No obstante, en octubre de 2015 y bajo el argumento de que dichos Paneles se encuentran equipados con dispositivos que permiten suministrar energía directamente utilizable, fueron nuevamente reclasificados, pero bajo la fracción arancelaria **8501.31.01**, correspondiente a generadores eléctricos, dando como resultado la aplicación de un arancel del 15%” [118].

La aplicación del arancel del 15% tuvo efecto a la importación de paneles solares originarios de países sin acuerdo comercial suscrito con México. En 2018, finalmente, la Primera Sala Especializada en Materia de Comercio Exterior del Tribunal Federal de Justicia Administrativa dictó sentencia a favor de **ASOLMEX**, estableciendo que los paneles solares debían reclasificarse en la fracción correspondiente a “células fotovoltaicas ensambladas en paneles solares”, invalidando con ello el arancel del 15 por ciento a su importación [119].

Para efectos de este estudio, se presentan únicamente los valores registrados por el **SIAMI** en las fracciones arancelarias **8541.40.01**, **8541.40.02** y **8541.40.03**. Por lo que respecta a la fracción arancelaria **8501.31.01**, no se presenta información ya que los registros del **SIAMI** no desagregan los valores que corresponden a celdas y **MFV**.

En la gráfica de la **Fig. 4-20** se presenta la **balanza comercial** 2003-2018 bajo la fracción arancelaria **8541.40.01**. Esta fracción arancelaria es la más antigua en donde se registran datos de exportación e importación de celdas y módulos FV, con la problemática de que son datos agregados de celdas, **MFV** y diodos emisores de luz (LED). A pesar de la agregación de datos, es valioso el observar tendencias y órdenes de magnitud. Como se observa, es evidente la dinámica creciente que se tuvo bajo esta partida hasta alcanzar el pico de exportaciones en 2011, con 932 millones de USD, y el de importaciones en 2013, con 1,442 millones de USD.

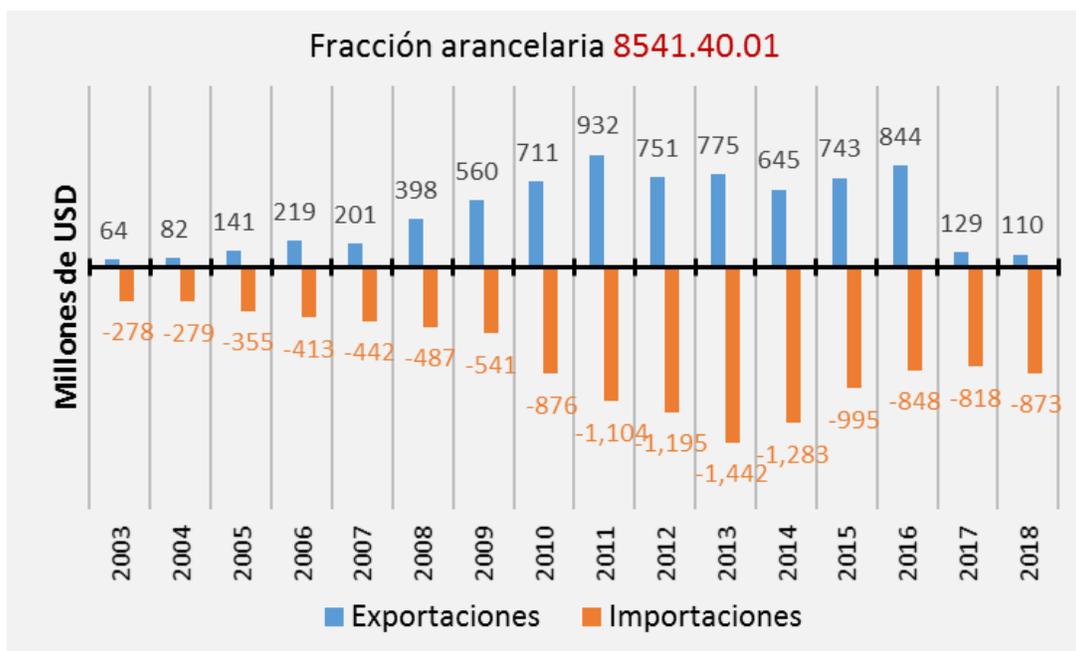


Fig. 4-20 Balanza comercial 2003-2018 de celdas, MFV y LED, bajo la fracción arancelaria 8541.40.01.

Fuente de datos: [120].

En la gráfica de la **Fig. 4-21** se presenta la **balanza comercial** 2013-2018 de celdas **FV**, bajo la fracción arancelaria **8541.40.02**. Como se observa, las importaciones registraron un pico en 2015 con más de 725 millones de USD, lo que se explica por la actividad maquiladora de **MFV** que en ese año se registraba. En cuanto a las exportaciones, hay una actividad creciente aproximándose en 2018 a los 22 millones de USD por este concepto; al respecto, no se cuenta con el detalle técnico ni comercial de las celdas exportadas.

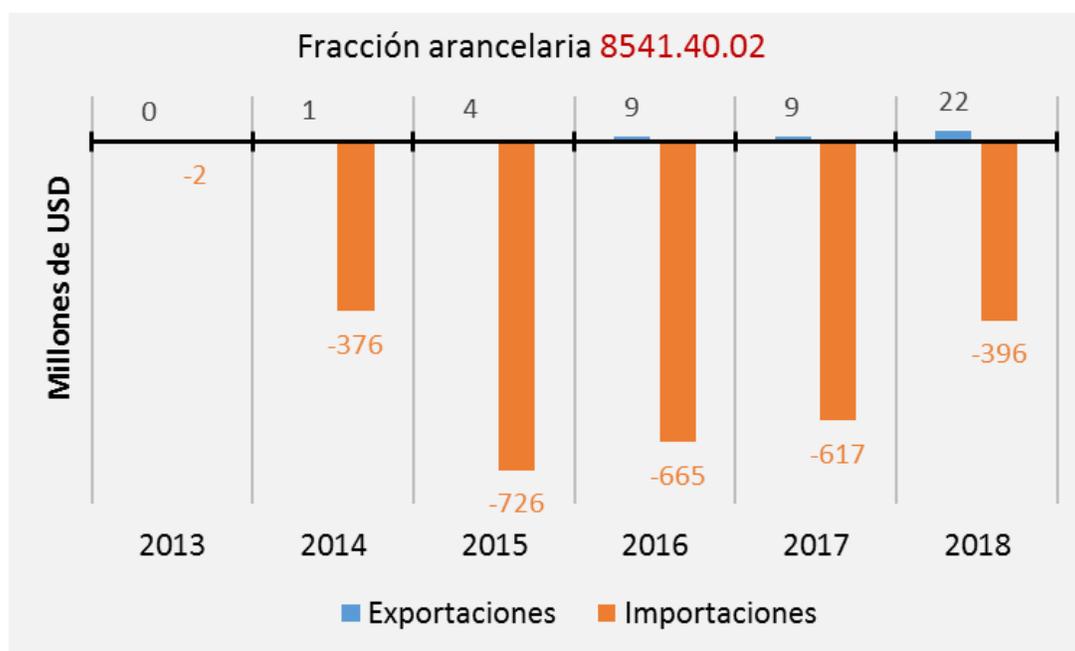


Fig. 4-21 Balanza comercial 2013-2018 de celdas FV fracción arancelaria 8541.40.02.

Fuente de datos: [120].

En la gráfica de la **Fig. 4-22** se presenta la balanza comercial 2013-2018 de **MFV** bajo la fracción arancelaria **8541.40.03**. En este caso, las importaciones han crecido progresivamente hasta superar los 37 millones de USD en 2018, lo que es atribuible al avance que ha tenido la generación **FV** tanto centralizada como distribuida. En cuanto a las exportaciones, se registró un pico en 2015 consistente con las importaciones de celdas que ocurrieron en ese año. Es notoria también la baja que ha tenido en los años recientes la actividad manufacturera de **MFV** para exportación.

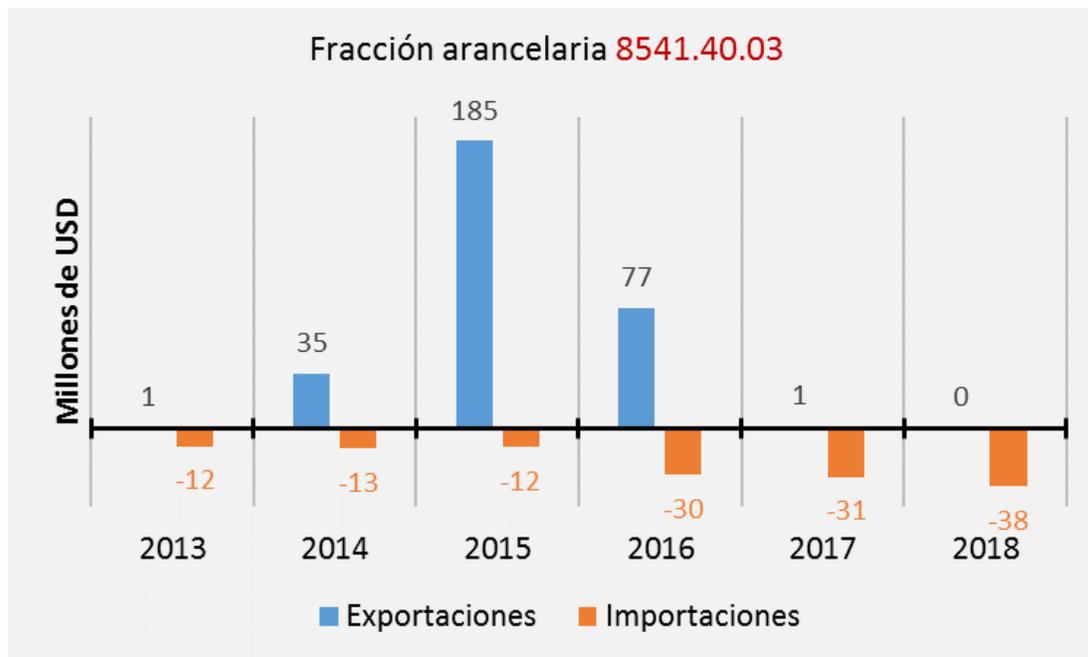


Fig. 4-22 Balanza comercial 2013-2018 de MFV fracción arancelaria 8541.40.03.

Fuente de datos: [120].

La información de importaciones y exportaciones de celdas y **MFV** que se ha presentado en esta sección, corresponde a los datos disponibles en el **SIAMI** para consulta pública, y puede estar sujeta a discrepancias con otras fuentes de información debido al encuadre de las operaciones en las fracciones arancelarias correspondientes. Si bien, existe un cierto nivel de incertidumbre por la agregación de datos y traslape de fracciones, es valioso para el lector el observar tendencias y órdenes de magnitud.

La información de exportaciones e importaciones nacionales de celdas y **MFV** también puede ser encontrada en atlas globales de comercio, así como en reportes especializados. Tal es el caso del estudio publicado para el año 2014 por el Centro de Análisis en Manufactura de Energías Limpias (CEMAC, por sus siglas en inglés) de Estados Unidos [121], que incluye datos de la **balanza comercial** de México.

A pesar de que el mayor porcentaje de las ensambladoras de módulos **FV** en el País son de origen nacional, su materia prima es importada. Por tanto, atendiendo al dominio de las importaciones en productos **FV**, resulta obvio inferir que el **contenido nacional** es muy bajo en el sector **FV** incluyendo tanto la **GDFV** como la generación de gran escala.

5 Análisis FODA

Con el objetivo de establecer un diagnóstico de la **GDFV** en México, se presenta en esta sección el análisis de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas (**FODA**), teniendo como referencia los indicadores de valor. Las fortalezas y las debilidades tienen origen al interior de la cadena de valor y están fuertemente relacionados con los actores de sus eslabones. En cambio, las oportunidades y amenazas tienen que ver con situaciones externas a estos actores, por ejemplo, la evolución del mercado o los marcos legales y normativos.

La identificación de un estado de desarrollo puede conducir al descubrimiento de las ventajas competitivas del mercado nacional y posibles estrategias de fortalecimiento.

Aunque existe un rezago en la adopción de la tecnología **FV**, las fortalezas que pueden identificarse en una primera instancia y que involucran a todas las cadenas de valor son la aceptación de la tecnología y el involucramiento del sector productivo. La primera se refleja en el crecimiento de la capacidad instalada acumulada en **GDFV** sobre todo en los últimos cuatro años, período en el cual se ha presentado un crecimiento de más del 600%. La segunda fortaleza tiene que ver con la amplia participación de empresas nacionales en el mercado mexicano; se estima que un poco más de tres cuartas partes de las unidades empresariales son de origen nacional.

En la **Fig. 5-1** se muestra un resumen de las fortalezas y debilidades, en tanto que en la **Fig. 5-2** se muestra lo correspondiente a las oportunidades y amenazas o retos en las cadenas de valor de componentes, y la cadena de valor de proyectos de la **GDFV** en México. En lo que resta de la sección se describen los aspectos considerados.

5.1 Fortalezas y debilidades vs. áreas de oportunidad y retos

Investigación, desarrollo e innovación

En lo que respecta a I+D+i, decenas de instituciones y centros de investigación han emprendido el desarrollo de proyectos siguiendo las tendencias internacionales, las cuales se han concentrado en el desarrollo de nuevos materiales para celdas **FV**. También se ha mostrado interés por parte del gobierno mediante la designación de inversiones a este tipo de proyectos a través del **FSE**, el cual desde 2009 ha aportado apoyos por más de 416 millones de pesos en temas de energía solar fotovoltaica.

Sin embargo, la producción científica mexicana en el tema registra una baja proporción con respecto al quehacer internacional: 1.13% de participación en el total de las publicaciones en el mundo de 2006 a 2017 y una contribución del 0.07% en el registro de patentes del total mundial en el período 2009-2013.

	I+D+i	Manufactura	Integración de sistemas	Interconexión	O&M+d
FORTALEZAS	<p>Proyectos FV 2009-2018 con apoyo del FSE: 27 proyectos incluidos los proyectos del CEMIE-Sol y su creación, con una inversión superior a los 416 millones de pesos.</p> <p>Know-how académico para el desarrollo de celdas.</p>	<p>La actividad de manufactura de módulos comprende 10 ensambladoras de origen nacional y 1 extranjera. También se fabrican inversores y algunos componentes eléctricos por empresas nacionales.</p>	<p>Creación de más de 750 empresas integradoras, muchas de ellas de reconocida calidad.</p> <p>Al 2017 la capacidad instalada acumulada en GDFV superó los 300 MW.</p>	<p>Se han mejorado los procesos administrativos para la interconexión: por obligación, el proceso debe durar entre 13 y 18 días. La medición neta es el esquema predominante de contraprestación; en 2018 se registran los primeros contratos por venta total de energía.</p>	<p>Cerca del 50% de los integradores ya publicita la oferta de servicios de O&M y realiza monitoreo rutinario de sus sistemas instalados.</p> <p>Existen diversos centros de acopio de residuos electrónicos con potencial para reciclar módulos FV.</p>
DEBILIDADES	<p>Publicaciones científicas (FV) nacionales 2006-2017: 1.13% del total mundial.</p> <p>Patentes (FV) nacionales 2009-2013: 0.07% del total mundial.</p>	<p>No hay manufactura de celdas FV de tecnología nacional.</p> <p>El número de plantas maquiladoras de módulos FV de marca extranjera, se redujo en esta década. Esto se atribuye a la estrategia de negocio de los fabricantes.</p>	<p>Los integradores nacionales, en general, no cuentan con sistemas de gestión de calidad.</p> <p>El personal instalador aún presenta un bajo índice de certificación en el EC0586/E0586.01.</p>	<p>No se han difundido ni estandarizado a nivel nacional los diversos esquemas y procedimientos de interconexión y contraprestación.</p>	<p>Los planes de servicios de O&M de la mayoría de empresas integradoras son básicos y poco elaborados.</p> <p>El reciclaje de módulos FV aún no está regulado en México.</p>

Fig. 5-1 Fortalezas y debilidades en la cadena de valor de la generación distribuida fotovoltaica en México.

	I+D+i	Manufactura	Integración de sistemas	Interconexión	O&M+d
OPORTUNIDADES	<p>La vinculación de facto entre academia e industria concretada en torno a los proyectos surgido en el marco del CEMIE-Sol.</p> <p>El know-how acumulado por centros de I+D+i relativa al desarrollo de celdas FV.</p>	<p>Cualidades de México para atraer inversión extranjera en manufactura FV: bajos costos de producción, alta calidad de mano de obra en manufactura electrónica y disponibilidad de parques industriales.</p>	<p>Gran potencial de mercado estimado en alrededor de 500 mil usuarios residenciales DAC, y miles de usuarios comerciales e industriales.</p> <p>El fortalecimiento del programa CSolar.</p> <p>La homologación de mecanismos de certificación/aprobación de proveedores.</p>	<p>El uso de la Plataforma Informática en Materia de GD que permite hacer un seguimiento del estado de las solicitudes de interconexión y consultar la capacidad disponible de los circuitos de distribución para la interconexión.</p>	<p>Los módulos FV pueden reciclarse hasta en un 70%. El valor del material reciclado de los módulos FV para 2030 se estima en 450 millones de dólares a nivel mundial.</p> <p>El monitoreo de SFV-GD es una necesidad que puede convertirse en una oportunidad de negocio.</p>
AMENAZAS (A) / RETOS (R)	<p>A. No hay diversidad en la investigación: más del 90% de los proyectos y publicaciones (FV) de México se enfocan en las celdas FV.</p> <p>R. Deben detectarse líneas de investigación factibles y poco exploradas.</p>	<p>A. Que las ensambladoras nacionales de módulos FV no ofrezcan estándares de calidad suficientes para competir contra marcas extranjeras.</p> <p>A. Poco interés de inversionistas locales en la manufactura FV.</p>	<p>R. Actualmente no se cuenta con un programa oficial de desarrollo de proveedores en GDFV, lo cual se considera clave para la cadena de valor.</p>	<p>A. Que la Suministradora del Estado no muestre capacidad de respuesta para atender las solicitudes de interconexión con la prontitud requerida.</p>	<p>A. Que las empresas integradoras no ofrezcan planes de O&M y no realicen monitoreo de los sistemas instalados.</p> <p>R. Implementación de un marco legal para reciclaje o disposición de módulos FV a mediano plazo.</p>

Fig. 5-2 Oportunidades, amenazas y retos en la cadena de valor de la generación distribuida fotovoltaica en México.

Aunque la mayor parte de los proyectos de I+D+i en tecnología **FV** son financiados por fondos del Gobierno Federal, este apoyo no ha sido suficiente para impactar de manera positiva en la producción científica del País en la materia. Es de resaltar que la inversión en I+D+i en México continúe sin rebasar el 0.5% del PIB, cuando los 15 países con mayor inversión en el mundo destinan entre 2.2% (Australia, 15^o lugar) y 4.3% (Corea del Sur, 1^{er} lugar) de su PIB²⁵.

Existen estrategias para el incremento de la inversión en I+D+i que han sido incluidas en la Ley de Ciencia y Tecnología [122], cuya implementación con oportunidad y rigor es de trascendencia para el impulso de una industria **FV** de avanzada en nuestro País. Esto sería un aliciente para la población investigadora, acarreando mejores índices de desempeño en la producción científica concomitante. Un aspecto que debe ser resaltado, es la necesidad de promover el desarrollo de líneas de I+D+i diversificadas en los centros de investigación del sector público, ya que la temática de los proyectos y publicaciones resultantes, en su gran mayoría, están focalizados en el desarrollo de celdas **FV**. Lo anterior, permitiría potenciar el aprovechamiento de los recursos federales para la generación de tendencias de innovación en materiales y componentes, que resulten en cadenas productivas de implantación efectiva en el corto o mediano plazo.

Por otro lado, se espera que nuevas capacidades de apoyo a la I+D+i puedan surgir con el advenimiento de la política energética de la administración entrante. Entre sus objetivos debieran incorporarse no sólo el desarrollo de proyectos de ciencia y tecnología sino también la creación de talento y capacidades de emprendimiento en la industria solar, así como el impulso a la generación de productos y servicios comercializables relacionados.

Manufactura

En materia de manufactura **FV**, México ha sido históricamente una región destino para algunas empresas de otras naciones y han surgido empresas nacionales. Como se presentó en la **Sección 3.2.1**, al 2018, se contabilizan 11 dedicadas al ensamble de módulos **FV** tanto de origen nacional como extranjero. En cuanto a la manufactura de celdas **FV**, como se presentó en la Sección 4.6.2, el SIAVI registra exportación bajo la fracción arancelaria 8541.40.02, de lo cual no se cuenta con mayor detalle. Al respecto, hasta donde se ha podido indagar, al 2018 no se fabrican celdas **FV** de tecnología nacional en México; en contraste, en 2017 trascendió la intención de SunPower Corporation de producir celdas **FV** en México [123]. Con respecto a la fabricación de inversores, en el País se cuenta con diversos fabricantes de inversores tanto de origen nacional como extranjero como se comentó en la **Sección 3.2.1**. Algunos otros componentes también se manufacturan por empresas mexicanas, tal es el caso del cable fotovoltaico de Condumex.

La manufactura **FV** presenta un desarrollo incipiente en México debido a las dificultades tecnológicas y de calidad propias de esta industria, así como a la alta competencia que está exhibiendo el mercado global con precios de producto sumamente reducidos. A pesar de esto,

²⁵ Consultar <http://uis.unesco.org/apps/visualisations/research-and-development-spending/>

el País se posiciona como un atractivo destino de inversiones extranjeras gracias a la disponibilidad de parques industriales, los bajos costos de producción que ofrece y, principalmente, por la calidad de la mano de obra mexicana en la manufactura electrónica.

Por otro lado, con la eliminación de los aranceles a las importaciones, se prevé que el dominio de la tecnología extranjera en el País prevalezca, al menos en lo que respecta a los **MFV** y a los **EAP**. Esto reduce de manera sustancial el porcentaje de contenido nacional en la **GDFV**, aunque la tecnología sea de calidad.

A pesar de que lo anterior no es alentador para la manufactura mexicana, existen caminos alternativos para su desarrollo. De acuerdo con la ASOLMEX, la oportunidad de producción nacional con potencial podría encontrarse en la fabricación de materiales y dispositivos con menor valor que los **MFV**, por ejemplo, cables e interruptores, en el corto plazo, y cajas combinadoras y estructuras de montaje, en el mediano plazo [124].

Integración e instalación de sistemas

La integración e instalación de sistemas se presenta como un segmento de negocio de alta participación. Aun cuando no se cuenta con una estadística completa de empresas desempeñándose en este segmento en el País, se pueden mencionar algunos datos de referencia. El padrón de empresas **FV** de FIRCO/ANCE consultado en 2018 arrojó un registro acumulado total de 755 empresas (certificadas, verificadas y en proceso). En una consulta directa al portal de la ANES en 2018 se identificaron más de 100 empresas de **SFV** asociadas; en otras fuentes, la ANES ha manifestado contar con un registro de más de 200 empresas asociadas [57], sin que se especifique su escala de negocio. ASOLMEX reporta por su parte alrededor de 115 empresas asociadas [125], aunque en este caso, en su mayoría dedicadas a la gran escala. ENF Solar, directorio global de empresas fotovoltaicas, lista más de 300 empresas instaladoras en México, donde al menos 250 se enfocan en la pequeña escala [126].

Más aún, se trata de una actividad que puede estar representando un 47% de los empleos que se generan en toda la cadena de valor de la **GDFV**. Por tanto, este eslabón se perfila como un potencial contribuyente al incremento del contenido nacional correspondiente a la mano de obra usada en la instalación de **SFV-GD**.

Por otro lado, se sabe que algunas empresas integradoras cuentan con personal certificado en el estándar EC0586/E0586.01 referente a la instalación de **SFV-GD**. Sin embargo, en el mejor de los escenarios podría hablarse de un índice de certificación del 24% en dicho estándar; en otras palabras, por cada 10 personas que podrían certificarse sólo dos de ellas lo hacen. Esto se convierte en una desventaja ante el inminente crecimiento de la demanda de servicios de instalación en los próximos años; es decir, la demanda podría satisfacerse, pero se pondría en discusión la calidad y la confiabilidad de los **SFV-GD** instalados si aquel índice de certificación no se mejora sustancialmente.

Con respecto al tema de calidad en las empresas integradoras, se debe mencionar que en general no se opera bajo un sistema de gestión de calidad.

Una de las actividades que presume de un futuro más claro y prometedor es la integración de los **SFV-GD**. Esto es porque el crecimiento de la capacidad instalada se traducirá en una mayor demanda de estos servicios, exigiendo una mejor capacidad de respuesta y cobertura de las empresas existentes, así como la posible creación de nuevas empresas y, en consecuencia, nuevos empleos. De hecho, el potencial de mercado es vasto considerando la existencia de alrededor de 463 mil usuarios en tarifa DAC, y miles de usuarios comerciales e industriales en las tarifas PDBT, GDBT, GDMTH y GDMTO.

En cuestión de la confiabilidad de los servicios que ofrecen estas empresas, uno de los esfuerzos realizados en México ha sido la implementación del estándar EC0586/EC0586.01 que sirve para certificar instaladores de **SFV-GD**. Aunque este estándar no es de carácter obligatorio, se ha planteado entre diversos actores del sector la posibilidad de asignarle esa característica, ya que se generaría un mayor valor agregado a los proyectos y se adquiriría una ventaja competitiva.

De manera adicional, el **INEEL** en colaboración con **ICM** y por encargo de la **SENER**, ha desarrollado los Estándares de Competencia

- Asesoría técnica-comercial en proyectos de generación distribuida fotovoltaica
- Supervisión de sistemas fotovoltaicos en residencia, comercio e industria.

Con ello se generan nuevas oportunidades de profesionalización del recurso humano para las empresas integradoras, en la directriz de actualizar a un mayor porcentaje de sus empleados.

Para fomentar un ambiente de competitividad e informar a los clientes sobre las capacidades humano-técnicas de las empresas, sería de utilidad la publicación –de libre acceso– y seguimiento de padrones o directorios de profesionales y/o empresas que posean certificaciones en estándares de competencia relacionados con la **GDFV**.

La implementación de un programa de desarrollo y evaluación de proveedores en la **GDFV** es un reto que debe ser afrontado por la **SE**, u otras instancias, en el corto y mediano plazo para fomentar el desarrollo e inversión del sector con empresas calificadas.

Interconexión

En el tema de la interconexión con la red de distribución, el proceso se ha reforzado con la inclusión de obligaciones de verificación e inspección para algunos casos. Al respecto, todas las Entidades Federativas cuentan con al menos una UVIE. Lo contrario sucede con las UIIE, porque, al momento de preparar este texto, se contaba con sólo 10 empresas de inspección en cinco Entidades Federativas.

Además, los actores de la cadena de valor –especialmente las integradoras– han venido madurando su experiencia en los procesos administrativos que se requieren para solicitar y concretar. Por ejemplo, los contratos de interconexión se han agilizado ya que la **CFE** está obligada a concretarlos en un plazo de 13 a 18 días, op. cit. [8].

En el tema de los dos nuevos esquemas de contraprestación, existe cierto rezago de implementación: por un lado, al momento de editar este estudio aún no se celebraban

contratos bajo el esquema de facturación neta, sin embargo, en el esquema de venta total se celebraron los primeros tres contratos en 2018.

Por otra parte, al momento de editar este documento aún no se contaba con la actualización del modelo de contrato para fuente colectiva.

Gracias a la aparición de nuevos instrumentos en las regulaciones de la **GLD**, se ha fortalecido la aceptación de los **SFV-GD**. Ahora los propietarios de los **SFV-GD** tienen una participación especial en el mercado de la energía a través de los diferentes esquemas de contraprestación, ya sea asumiendo el papel de *prosumers* (medición neta/facturación neta), o bien de productores de energía (venta total).

Desde luego, para conseguir un mayor aprovechamiento de estos esquemas y continuar atrayendo el interés en la instalación de **SFV-GD** será indispensable que se vigilen y mejoren los procedimientos necesarios para su interconexión.

Un reto a enfrentar tiene que ver con la capacidad de la red de distribución existente. Existen algunas localidades en México en las que la capacidad **FV** instalada ya ha alcanzado niveles de saturación de la red. Para tener cierto control en este tema se creó la Plataforma Informática en Materia de Generación Distribuida²⁶ de la **CFE**, según lo dispuesto en [8]. Esta Plataforma sirve para dar seguimiento a las solicitudes de interconexión y, además, ofrece información estadística sobre la capacidad disponible en la red de distribución general a causa de la penetración de la **GD**.

En este sentido, la Plataforma de **GD** puede ser aprovechada en el desarrollo de los proyectos de **SFV-GD** para complementarlos y hacer un uso eficiente de la infraestructura de la red de distribución.

Además, el País debe adaptarse a la introducción de la tecnología digital en la gestión de la energía, de donde han surgido conceptos como microrred y *smart grid*.

Operación, mantenimiento y retiro

Actualmente algunas empresas ofrecen contratos de O&M para procurar el funcionamiento adecuado de los **SFV-GD**; el 47% de las empresas integradoras de una muestra han ofrecido contratos de O&M, según una encuesta de ICM. Algunas de las empresas que aún no ofrecen un contrato de este tipo, suelen incluir un servicio básico de mantenimiento basado en visitas a campo por cumplimiento de garantía. Este hecho indica que desarrollar estas labores no se percibe como algo imprescindible y, por tanto, se está creando un hueco de oportunidad. En un panorama general, se espera que en corto plazo los servicios de mantenimiento ofrecidos sean más elaborados.

La actividad de retiro de los **SFV-GD**, incluyendo el desmantelamiento, reciclaje y disposición final es un tema pendiente. Con respecto al reciclaje, en particular, es un tema aún no regulado. Si bien no existen empresas en México con capacidades especializadas para

²⁶ <http://app.distribucion.cfe.mx/Aplicaciones/GeneracionDistribuida/>

el manejo de los residuos **FV**, sí existen centros de acopio de materiales electrónicos que pueden ser opciones para el reciclaje en el futuro.

Aunque se presenta cierto rezago en la asimilación y aplicación de las actividades de O&M, el reto que enfrentarán las empresas involucradas puede aminorarse si se comienza con la implementación de planes de capacitación. Incluso se podría considerar el aprovechamiento del esquema de los Estándares de Competencias para incluir estas tareas.

Debe haber un compromiso por parte de las empresas integradoras para cumplir con un protocolo de seguimiento de los **SFV-GD** que instalan, incluyendo acciones de monitoreo y mantenimiento. Desde otra perspectiva, estas actividades podrían constituir un nuevo modelo de negocio.

Como se vio en la **Sección 3.4.2**, es necesario la inclusión de programas de desmantelamiento en proyectos de energía eléctrica **FV**. Sin embargo, estas iniciativas son aún escasas y muy generales en requerimientos, aunque sí incluyen a las centrales de generación eléctrica que utilizan energía solar **FV**. Pero, independientemente de ello, quizá entidades como la SEMARNAT y la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) deberían considerar de manera especial los residuos provenientes de **SFV**, en el cumplimiento de sus funciones; por ejemplo, posiblemente incluyendo una clasificación específica para estos residuos en el registro de centros de acopio y las inspecciones de control y manejo de esta clase de residuos.

De manera similar a lo que ha sucedido con residuos como el plástico y algunos metales, los residuos fotovoltaicos pueden conducir a la creación de nuevas empresas o modelos de negocio. De acuerdo con la IRENA y la IEA-PVPS, para 2030 las materias primas técnicamente recuperables de los módulos **FV** podrían alcanzar un valor de 450 millones de dólares y ser de utilidad para la producción de nuevos módulos ya que puede reciclarse hasta un 70% de los módulos **FV** desechados [63]. No obstante, para conseguir esta transformación hace falta establecer marcos legales rigurosos. Llegará el momento en que se pueda replicar la implementación de un marco legal más específico como el emitido en la Unión Europea.

5.2 Estrategias para fortalecer la cadena de valor

Finalmente, en la **Fig. 5-3** se ilustra un conjunto breve de posibles estrategias a tomar en cuenta con base en el diagnóstico realizado en la **Fig. 5-1** y la **Fig. 5-2**, y de acuerdo con lo antes expuesto.

Para fortalecer el binomio de la investigación y la industria se debe aprovechar la experiencia del País en las áreas de química, mecánica y electrónica. En este sentido, los esfuerzos serían dirigidos al desarrollo tecnológico de componentes del BoS, tales como cables, cajas de conexión, marcos de módulos, sistemas de montaje, entre otros. Algunos de estos componentes, de acuerdo con la IRENA [63], se han convertido históricamente en fuentes

principales de fallas en los **SFV** en general, aproximadamente un 25% de las fallas que reportan los clientes.

De acuerdo con un diagnóstico del **IMP** [127], algunas de las necesidades tecnológicas se encuentran en desarrollar componentes tales como interruptores de c.c. y c.a., seguidores de máxima potencia, inversores, envoltentes poliméricas para intemperie, así como desarrollar recursos humanos en temas de acondicionamiento de energía.

Aunque en la manufactura de módulos se ha limitado al ensamble, algunas empresas nacionales de este rubro han alcanzado niveles de confiabilidad tales que las han convertido en exportadoras.



Fig. 5-3 Estrategias para fortalecer las cadenas de valor de la generación distribuida fotovoltaica.

En cuanto a la integración de sistemas, resulta importante el hacer llegar apoyos a estas empresas para fortalecer su competitividad en virtud de que se trata de la actividad más predominante en México que requiere introducir sistemas de gestión de calidad y mejorar el índice de certificación del personal instalador. Para conseguir esto, se necesita de la ampliación y la accesibilidad a programas de desarrollo de proveedores nuevos o existentes, tales como el Fideicomiso Público para Promover el Desarrollo de Proveedores y Contratistas Nacionales de la Industria Energética promovido por la **SE** [128].

6 Sinopsis, conclusiones y recomendaciones

6.1 Sinopsis

A lo largo de este documento se revisaron los aspectos más sobresalientes relativos a las cadenas de valor de la **GDFV** en México, cubriendo los siguientes aspectos:

- Revisión del estado del arte en torno a la definición de cadenas de valor
- Estado de avance y escenarios de crecimiento
- Planteamiento de mapas representativos
- Propuesta y valoración de indicadores significativos
- Diagnóstico basado en un análisis FODA
- Discusión de la vinculación de la **GDFV** con los nuevos esquemas de mercado y la transformación de la red.

La revisión del estado del arte permitió la definición de cadenas de valor de esta industria en dos bloques generales: cadenas de valor de los insumos y cadena de valor del proyecto. Con ello se segmentó la **GDFV** en bloques, con un enfoque basado en fundamentos teóricos clásicos. Esto permitió la derivación de indicadores apropiados para evaluar el estado de la **GDFV** en México en términos de mercado, desarrollo tecnológico y capital humano.

Bajo esta concepción, se desglosaron las cadenas de valor en segmentos. Se identificaron actividades en torno a las cadenas de valor de los insumos (mercado de materiales) y a la cadena de valor del proyecto (mercado de servicios). Bajo el enfoque de cadena de valor como concepto generalizado, se trazó un mapa de ciclo de vida desde la I+D+i, pasando por la producción y distribución de los insumos de un proyecto, y la implementación del proyecto hasta su retiro. En cada segmento se identificaron los actores principales, desde los recursos humanos hasta las organizaciones y unidades empresariales; cabe destacar que la identificación de elementos fue enunciativa pero no limitativa.

Se revisó la actividad nacional en torno a la I+D+i incluyendo detalles de los proyectos del **FSE** y las competencias en producción científica. Tocante a la proveeduría de componentes se trazó el panorama de la fabricación de módulos e inversores. Se revisó la cobertura de servicios de los laboratorios de pruebas **FV**. Se hizo un balance de la participación de empresas distribuidoras de componentes de **SFV**. Se hizo un recuento de las empresas integradoras, **UVIE** y **UIIE**. Se analizó el papel de las empresas de servicios durante la operación y el retiro.

A partir del planteamiento de la cadena de valor se desarrollaron algunos indicadores relacionados con el mercado nacional de la **GDFV**: costo instalado, costo nivelado de energía, valor de mercado y valor agregado. Esto permitió identificar principalmente aspectos de competitividad respecto a los costos de los **SFV-GD** y el capital humano de las empresas clave. Adicionalmente, a través de un breve análisis FODA se emitió un diagnóstico de la cadena de valor de la **GDFV** en México y, con ello, se establecieron algunas

posibles estrategias generales para fortalecer las debilidades de cada eslabón y afrontar algunos de los retos identificados.

En lo que concierne al análisis FODA, se abordaron aspectos relevantes de la **GDFV** en el marco de los nuevos esquemas de mercado y la transformación de la red. Tal es el caso del surgimiento de conceptos como la **Energía Transactiva**, así como el rol que se juega en la transformación de la red hacia una operación inteligente.

6.2 Conclusiones y recomendaciones

Las mayores fortalezas de la cadena de valor de la **GDFV** se localizan en la implementación de proyectos, esto es, la integración de sistemas, debido a que:

- es un área fértil para el emprendimiento,
- es el terreno más fértil para la generación de empleos,
- es el segmento con mayor expectativa para la recepción de inversiones, y
- es un catalizador potencial para el incremento del contenido nacional.

Existen aspectos por fortalecer, o en su caso desarrollar, en torno a las prácticas y estructuras al interior de los modelos de negocio en la cadena de valor de los proyectos. De estos, se pueden destacar los siguientes:

- Promover la obligatoriedad de que un mínimo de personal instalador por empresa esté certificado bajo el Estándar de Competencias EC0586.01.
- Fomentar el concepto de proveedor aprobado.
- Multiplicar el otorgamiento de financiamientos a MiPyMEs.
- Propiciar la homologación a mediano plazo de los esquemas existentes de proveedor certificado entre las diversas instituciones nacionales.

En la manufactura **FV** apenas subsiste una decena de ensambladores nacionales de módulos **FV**. Si bien, la participación de mercado de estas empresas es aún marginal en el contexto internacional, es significativo el considerar que su capacidad de producción rebasa las necesidades del mercado de **GD**. Por otra parte, históricamente México se ha perfilado como un destino de inversión atractivo para la industria manufacturera de alta tecnología, debido a los bajos costos de producción y la calidad de la mano de obra local. Desde luego, los posibles cambios en el nivel de producción de componentes **FV** o la consolidación manufacturera nacional estarán determinados por el interés de inversionistas y la competitividad de los productos.

El crecimiento de la **GDFV** exigirá el desarrollo de la industria nacional para abastecer la demanda de equipos y materiales y los consecuentes esfuerzos en inversión. De acuerdo con proyecciones evaluadas en este estudio, el escenario de inversión de 2019 a 2025 ronda los 10 mil millones de dólares. Una inversión de esta magnitud podrá ser mejor afrontada si se promueven esquemas de financiamiento adecuadamente.

Por otro lado, la intervención de los líderes de un país y la existencia de un marco legal son vitales para el desarrollo de sus industrias. Entre los esfuerzos más importantes que el

Gobierno Federal ha hecho para impulsar la **GDFV** en México está el mejoramiento de su marco regulatorio, las cuales han fomentado un mayor interés en la adopción de la tecnología, construyendo el camino ya iniciado hacia una matriz energética más sustentable.

Ahora bien, quizá el eslabón menos beneficiado en la cadena de valor de la **GDFV** es la I+D+i. Si bien el Gobierno Federal ha destinado fondos para la ciencia y la tecnología, las inversiones aún están por debajo de lo que se establece en la Ley de Ciencia y Tecnología. No obstante, es imperativo que las empresas privadas también tomen un papel protagónico en I+D+i para concebir y desarrollar productos diferenciados que les permitan ganar participación de mercado. Además, la comunidad científica debe incursionar en líneas de investigación poco exploradas y las empresas y el gobierno deben mostrar apertura para permitir una redistribución de las inversiones. Aquí, las áreas de desarrollo tecnológico podrían involucrar mejoras en componentes menores tales como cajas de conexiones, cables, marcos de módulos, sistemas de montaje; esto permitiría diversificar la manufactura local aprovechando la experiencia del País en asignaturas como mecánica, electrónica y química.

También vale la pena destacar que existe un área de oportunidad en la generación de información y datos actualizados para la industria fotovoltaica nacional, especialmente en la **GDFV**. Es necesario fomentar la realización constante de estudios en energías limpias con un enfoque en la industria para generar un estado del arte y bases de datos locales, tal como se lleva a cabo en países avanzados; lo anterior, a través de compañías de consultoría y análisis de la energía, universidades y centros de investigación.

Se recomienda generar mecanismos permanentes que posibiliten la disposición de información completa a lo largo de toda la cadena de valor. La colaboración de las empresas involucradas es vital para la generación de información confiable. Esta información debe ser actualizada y suficientemente detallada con registros de datos como son:

- el número de proyectos **FV** en ciencia y tecnología ejecutados por las universidades y centros de investigación tanto públicos como privados;
- la evolución de los costos de instalación de **SFV-GD** con desgloses por componentes y quizá por regiones geográficas;
- la cantidad de empresas en la cadena de valor bajo una clasificación adecuada y estandarizada;
- el tamaño y evolución de la población trabajadora de la **GDFV** por tipo de empresa y área de ocupación;
- el contenido nacional de los productos **FV** ensamblados en México; entre otras.

Finalmente, en lo que respecta a la O&M+d, pueden crearse nuevas áreas de negocio en el corto y en el mediano plazo. Por un lado, hay una necesidad de hacer un seguimiento rutinario de los **SFV-GD** y ofrecer O&M para no poner en riesgo su vida útil; aunque ya se está incursionando en esta área, los procesos actuales en el País necesitan madurar. Por otro lado, en el mediano plazo, serán de mayor interés los servicios para el desmantelamiento de las plantas y el manejo de los residuos obtenidos, principalmente, de los **MFV**. En este último aspecto, el establecimiento de un marco legal en México representa un enorme reto.

El desarrollo de la **GDFV** en México presume de un futuro prometedor, principalmente por la inminente demanda de sistemas que se prevé para los próximos años. Basados en las estimaciones mostradas en este estudio, se espera que:

- La capacidad instalada siga creciendo a un ritmo acelerado, consiguiendo la instalación de cientos de miles de nuevos sistemas para 2025, equivalentes a más de 6 GW nuevos proyectados para el período 2019-2025.
- El costo instalado de los **SFV-GD** se reduzca en un porcentaje de hasta 35% al 2025, con respecto al costo de 2018.
- Se agreguen más de 25,000 nuevos empleos en toda la cadena de valor al 2025.
- El mercado de la **GDFV** rebase los 10 mil millones de dólares en el período de 2019 a 2025, implicando el escalamiento de las empresas existentes o la creación de cientos o miles de nuevas empresas.

Referencias

- [1] PwC, Climate Works Foundation, IMERE & WWF, «Plan integral para el desarrollo de las energías renovables en México 2013-2018,» Ciudad de México, 2012.
- [2] PwC, «La importancia estratégica de la generación distribuida para el desarrollo de la industria de energías renovables,» julio 2016. [En línea]. Available: <https://www.energiaadebate.com/la-importancia-estrategica-de-la-generacion-distribuida-en-mexico/>. [Último acceso: 5 junio 2018].
- [3] ICM, «Mercado de Energía Fotovoltaica de Baja Escala, Generación Distribuida,» Ciudad de México, 2017.
- [4] IMP-SENER, «Reporte de Inteligencia Tecnológica: Energía Solar Fotovoltaica,» IMP, Ciudad de México, México, 2017.
- [5] ProMéxico-GIZ-IER, *La industria solar fotovoltaica y fototérmica en México*, Ciudad de México, México: ProMéxico, 2017.
- [6] DOF, *Ley de la Industria Eléctrica*, Ciudad de México: DOF, 11/08/2014.
- [7] *Ley de Transición Energética*, Ciudad de México: DOF, 24/12/2015 .
- [8] DOF - RESOLUCIÓN Núm. RES/142/2017, *Disposiciones administrativas de carácter general, los modelos de contrato, la metodología de cálculo de contraprestación y las especificaciones técnicas generales, aplicables a las centrales eléctricas de generación distribuida y generación limpia dist.*, Ciudad de México: Diario Oficial de la Federación, 2017.
- [9] Comisión Reguladora de Energía, RESOLUCIÓN Núm. RES/174/2016 RESOLUCIÓN por la que se expiden las Disposiciones Administrativas de carácter general para el funcionamiento del Sistema de Gestión de Certificados y Cumplimiento de Obligaciones de Energías Limpias., DOF, 30/03/2016 .
- [10] Comisión Reguladora de Energía, RESOLUCIÓN Núm. RES/942/2015 RESOLUCIÓN por la que la Comisión Reguladora de Energía expide las disposiciones administrativas de carácter general en materia de verificación e inspección de la ind. eléct. en las áreas de gen., trans. y dist. de en. eléct., DOF, 20/01/2016 .
- [11] Secretaría de Energía, Acuerdo por el que la Secretaría de Energía emite las Bases del Mercado Eléctrico, DOF, 08/09/2015 .

- [12] Secretaría de Energía, LINEAMIENTOS que establecen los criterios para el otorgamiento de Certificados de Energías Limpias y los requisitos para su adquisición, DOF, 31/10/2014 .
- [13] DOF, *Manual de Interconexión de Centrales de Generación con capacidad menor a 0.5 MW*, Ciudad de México: Diario Oficial de la Federación, 2016.
- [14] Comisión Reguladora de Energía, ACUERDO Núm. A/067/2017 ACUERDO de la CRE por el que se modifican y adicionan las Disp. Adm. de Car. Gen. para el funcionamiento del Sist. de Gest. de Cert. y Cump. de Ob. de En. Limp., DOF, Martes 23 de enero de 2018.
- [15] D. Meré, «La venta total de electricidad ya es una realidad en México,» *Manufactura (Expansión)*, 19 julio 2018.
- [16] Manufactura, «Los pequeños productores de electricidad ya no tienen obstáculos,» *Manufactura*, 06 julio 2018.
- [17] DOF, *Ley de Transición Energética*, Ciudad de México: Diario Oficial de la Federación, 2015.
- [18] M. E. Porter, *Competitive advantage: creating and sustaining superior performance*, Nueva York: Free Press, 1985.
- [19] R. Kaplinsky y M. Morris, *A Handbook for Value Chain Research*, IRDC.
- [20] S. Rocheska, M. Angeleski y G. Mancheski, «A New Methodological Approach for Designing the Software Industry Value Chain,» *Ecoforum*, vol. 4, n° 2 (7), pp. 87-93, 2015.
- [21] D. G. Messerschmitt y C. Szyperski, «Organization of the Software Value Chain,» de *Software Ecosystem: Understanding an Indispensable Technology and Industry*, Cambridge, Massachusetts, EE.UU., MIT Press, 2003.
- [22] J. Chang, S. Liu, H. Huang, D. Qi y Z. Zhao, «Study on Online Music Business Model Innovation Based on Value Chain Theory,» 2016.
- [23] R. Kaplinsky y M. Morris, «A Handbook for Value Chain Research, prepared for the IDRC,» 2001.
- [24] C. P. Ensign, «Value Chain Analysis and Competitive Advantage: Assessing Strategic Linkage and Interrelationships,» *Journal of General Management*, n° 2 (1), pp. 18-42, 2001.

- [25] L. Q. Chen, «Research on industrial cluster innovation problem,» *Gansu Theory Research*, vol. 1, pp. 65-69+113, 2007.
- [26] P. M. Papazoglou, P. Ribbers y A. Tsalgaidou, «Integrated value chains and their implications from a business and technology standpoint,» *Decision Support Systems*, vol. 29, pp. 323-342, 2000.
- [27] R. Norman y R. Ramírez, «From Value Chain to Value Constellation: Designing Interactive Strategy,» *Harvard Business Review on Managing the Value Chain*, pp. 185-221, 2000.
- [28] P. Tyrväinen, «A Reference Model for Software Business Activities,» 2013.
- [29] K. F. Pil y M. Holweg, «Evolving From Value Chain to Value Grid,» *MIT Sloan Management Review*, vol. 47, n° 4, pp. 72-80, 2006.
- [30] M. Schief, *The Impact on Firm and M&A Performance*, Springer Gabler, 2014.
- [31] SENER, *Reporte de Avance de Energías Limpias Primer Semestre 2018*.
- [32] Ernst & Young Global Limited, *Renewable Energy Country Attractiveness Index*, Mayo, 2018.
- [33] The Economist and Frankfurt School UNEP Collaborating Centre, *Global Trends in Renewable Energy Investment 2018 and 2017*, <http://global-climatescope.org/en/country/mexico/#/value-chains>.
- [34] CRE, «Centrales eléctricas de Generación Distribuida,» 2018. [En línea]. Available: <https://datos.gob.mx/busca/dataset/centrales-electricas-de-generacion-distribuida/>.
- [35] CRE, «Evolución de Contratos de Pequeña y Mediana Escala / Generación Distribuida,» Marzo 2019.
- [36] SENER, «Prospectiva de Energías Renovables 2016-2030,» SENER, Ciudad de México, 2016.
- [37] Notimex, «México triplicará su capacidad de producción de electricidad hacia 2050,» *Manufactura (Expansión)*, 21 junio 2018.
- [38] O. Zinaman, A. Aznar, F. Flores-Espino y A. T. Garza, *The Status and Outlook of Distributed Generation Public Policy in Mexico. Technical Report: NREL/TP-6A50-71469*, NREL, May 2018.
- [39] T. S. López González, «Los intermediarios financieros no bancarios en México: ¿Fuentes de financiamiento o generadores de inestabilidad financiera? El caso de las

- Sociedades Financieras de Objeto Múltiple,» *Economía Informa*, n° 355, noviembre-diciembre 2008.
- [40] LEY DE LA COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD, DOF , 11-08-2014.
- [41] Centro de Investigación en Energía de la UNAM, «INFORME DE ACTIVIDADES,» Temixco, Morelos, 1997.
- [42] A. M. Acevedo, «40 años de Investigación y Desarrollo de Celdas Solares en el CINVESTAV,» CINVESTAV del IPN; Departamento de Ingeniería Eléctrica.
- [43] SENER, «Informe Tres, Fondo de Sustentabilidad Energética,» Ciudad de México, 2016.
- [44] SENER, «Informe Cuatro, Fondo de Sustentabilidad Energética,» Ciudad de México, 2017.
- [45] IMP, «Diagnóstico Tecnológico CEMIE-Sol,» SENER, 2017.
- [46] P. Yureli Cacho Carranza, «Laboratorio del Instituto de Energías Renovables de la UNAM Evalúa y Asegura la Calidad de Módulos y Sistemas Fotovoltaicos,» *Petroquimex La Revista de la Industria Energética*, 19 junio, 2018.
- [47] Forbes Staff, «Solartec entrará al mercado de paneles solares en EU,» *Forbes México*, octubre 21, 2014.
- [48] «Kyocera construye nueva planta de fabricación a gran escala para módulos solares en Tijuana, México,» *Business Wire*, 1 junio 2007 .
- [49] «Kyocera bajará su producción,» *Frontera.Info*, 26 octubre 2016.
- [50] «Panasonic suspending more than a third of HIT cell and module production - reports,» *PVTech*, 9 Febrero 2016.
- [51] «Siliken se hunde,» *Energías Renovables*, 10 diciembre 2012.
- [52] «SunEdison inaugurates solar module plant in Chihuahua,» *Maquila Portal; Mexico Manufacturing Industry Information Center*.
- [53] «SunEdison to sell US\$ 8.7 million assets to Flex,» *Maquila Portal; Mexico Manufacturing Industry Information Center*.
- [54] A. Valdez, «Se instala en Mexicali la empresa ‘Sunpower’,» *El MEXICANO*, 13 abril 2013.

- [55] «Traen de Filipinas a Ensenada fábrica de ensamble de paneles solares,» *La Jornada, Baja California*, 5 octubre 2016.
- [56] «ENF Solar,» 2018.
- [57] G. Hernández, «La industria de la energía solar prevé crear 10,000 empleos en 2019,» *El Economista*, 31 julio 2018.
- [58] SENER, «DIRECTORIO DE UVIES POR ENTIDAD FEDERATIVA,» 2018.
- [59] CRE, «UNIDADES DE INSPECCIÓN AUTORIZADAS POR LA COMISIÓN REGULADORA DE ENERGÍA,» 2018.
- [60] FIRCO/ANCE, «Padrón FV Proyecto Energía Renovable,» [En línea]. [Último acceso: 2018].
- [61] ICM, *Encuesta de mercado para el proyecto FATERGED*, SurveyMonkey, 2018.
- [62] NREL, «Best Practices in Photovoltaic System Operations and Maintenance (2nd Edition),» NREL, Colorado, EEUU, 2016.
- [63] IRENA & IEA-PVPS, «End-of-life Management: Solar Photovoltaic Panels,» IRENA & IEA-PVPS, 2016.
- [64] Official Journal of the European Union, *Directive 2012/19/EU of the European Parliament and of the Council on waste electrical and electronic equipment*, Bruselas, Bélgica, 2012.
- [65] SEMARNAT, *Directorio de centros de acopio de materiales provenientes de residuos en México 2010*, Ciudad de México: Gobierno Federal, 2010.
- [66] PV CYCLE, «ANNUAL REPORT 2017».
- [67] «Veolia opens the first European plant entirely dedicated to recycling photovoltaic panels,» [En línea]. Available: <https://www.veolia.com/en/newsroom/news/recycling-photovoltaic-panels-circular-economy-france>.
- [68] IRENA, «Smart Grids and Renewables: A cost-benefit analysis guide for developing countries,» IRENA, Abu Dabi, Emiratos Árabes Unidos, 2015.
- [69] Grid Wise Architecture Council, «GridWise Transactive Energy Framework,» *Pacific Northwest National Laboratory*, Vols. %1 de %2PNNL-22946 Version 1.0, 2015.

- [70] Bluewave Resources, *Distribution Market Designs and Business Models*, Virginia: Bluewave Resources, 2017.
- [71] R. M. Grant, *Contemporary strategy analysis: Text and cases edition*, John Wiley & Sons, 2010.
- [72] G20, «Indicators for measuring and maximizing economic value added and job creation arising from private sector investment in value chains,» G20, 2011.
- [73] IRENA, «IRENA Cost and Competitiveness Indicators: Rooftop Solar PV,» International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2017.
- [74] A. Miehlebradt y C. Riggs, *Monitoring and Results Measurement in Value Chain Development: 10 Lessons from Experience*, Virginia: Bill & Melinda Gates Foundation, 2012.
- [75] R. Fu, D. Feldman, R. Margolis, M. Woodhouse y K. Ardani, «U.S. Solar Photovoltaic System Cost Benchmark: Q1 2017,» National Renewable Energy Laboratory (NREL), Colorado, EE.UU., 2017.
- [76] IRENA, «The Power to Change: Solar and Wind Cost Reduction Potential to 2025,» IRENA, Bonn, Alemania, 2016.
- [77] M. Cleveland, «Tackling Solar Energy's 'Soft Costs',» *NCSL-LegisBrief, USA National Conference of States Legislature*, vol. 25, n° 27, July 2017.
- [78] D. F. a. R. M. Ran Fu, U.S. Solar Photovoltaic System Cost Benchmark: Q1 2018, NREL.
- [79] B. Gallagher, «U.S. PV System Pricing H2 2017: Forecasts and Breakdowns,» GTM Research, Boston, EE.UU., 2018.
- [80] NREL, «Annual Technology Baseline Data,» 2018. [En línea]. Available: <https://atb.nrel.gov/electricity/data.html>. [Último acceso: julio 2018].
- [81] OFFICE of ENERGY EFFICIENCY & RENEWABLE ENERGY, US DOE, «SunShot 2030,» [En línea]. Available: <https://www.energy.gov/eere/solar/sunshot-2030>.
- [82] Solar Energy Technologies Office (SETO), U.S. Department of Energy (DOE), «The SunShot 2030 Goals,» August 2017.
- [83] «market value,» de *BusinessDictionary*, WebFinance Inc. .
- [84] «Market price,» de *Wikipedia*.

- [85] «El Apalancamiento Financiero en un Proyecto Solar,» [En línea]. Available: <https://www.grupo-sistener.com/el-financiamiento-es-la-clave/>.
- [86] SEMARNAT / INECC / Boston Strategies International, Estudios de Cadenas de Valor de Tecnologías Seleccionadas para Apoyar la Toma de Decisiones en Materia de Mitigación en el Sector de Generación Eléctrica y Contribuir al Desarrollo de Tecnologías de Bajo Carbono, Ciudad de México, Diciembre de 2016.
- [87] D. S. et.al., «BENCHMARKS OF GLOBAL CLEAN ENERGY MANUFACTURING NREL/TP-6A50-65619,» CEMAC (*Clean Energy Manufacturing Analysis Center*), January 2017.
- [88] D. F. R. F. T. R. B. S. K. H. A. R. a. R. M. Michael Woodhouse, «The International Supply Chain, Manufacturing Costs, and Lifecycle Project Economics of Photovoltaics,» de *Presentation to the Shanghai New Energy Conference (SNEC), NREL*, Shangai, May 28, 2018.
- [89] C. Roselund, «BNEF: U.S. module prices seeing “aggressive” reductions,» *pv magazine USA*, October 19, 2018.
- [90] «GuruFocus.com; JinkoSolar Holding Co Ltd (NYSE:JKS) Gross Margin %: 14.90% (As of Sep. 2018),» [En línea]. Available: <https://www.gurufocus.com/term/grossmargin/JKS/Gross-Margin-Percentage/JinkoSolar%20Holding%20Co%20Ltd>.
- [91] «First Solar Gross Margin 2007-2018 | FSLR». *Macrotrends LLC*.
- [92] A. Shah, «Solar Inverter in India – Guide to Solar Inverter Manufacturers, Price and Types,» *Green World Investor*, Apr, 2011.
- [93] R. Faier, «Solaredge Technologies,» November 2018.
- [94] «gurufocus.com; SMA Solar Technology AG (OTCPK:SMTGF) Gross Margin %: 20.03% (As of Sep. 2018),» [En línea]. Available: <https://www.gurufocus.com/term/grossmargin/SMTGF/Gross-Margin/SMA-Solar-Technology-AG>.
- [95] «gurufocus.com; TE Connectivity Ltd (NYSE:TEL) Gross Margin %: 33.92% (As of Sep. 2018),» [En línea]. Available: <https://www.gurufocus.com/term/grossmargin/TEL/Gross+Margin/TE+Connectivity+Ltd>.
- [96] «gurufocus.com; Schneider Electric SE (OTCPK:SBGSY) Gross Margin %: 39.12% (As of Jun. 2018),» [En línea]. Available:

- <https://www.gurufocus.com/term/grossmargin/SBGSY/Gross+Margin/Schneider+Electric>.
- [97] «GuruFocus.com; General Cable Corp (NYSE:BGC) Gross Margin %: 10.36% (As of Mar. 2018),» [En línea]. Available: <https://www.gurufocus.com/term/grossmargin/BGC/Gross%252BMargin/General%2BCable%2BCorp>.
- [98] «Macrotrends; Encore Wire Profit Margin 2006-2018 | WIRE,» [En línea]. Available: <https://www.macrotrends.net/stocks/charts/WIRE/encore-wire/profit-margins>.
- [99] Y. Reznikov, «Solar Mounting and Tracking Companies Need to Keep Reinventing Themselves,» *GTM newsletter*, April 10, 2018.
- [100] N. Litvak, «Is the SolarCity Model the Only Way to Scale Residential Solar?,» *GTM newsletter*, March 31, 2014.
- [101] «Sunvest Solar Inc.,» [En línea]. Available: <https://www.sunvest.com/>.
- [102] «Solarcity Corp». *CSIMarket.com*.
- [103] «macrotrends; Vivint Solar Gross Margin 2013-2018 | VSLR,» [En línea]. Available: <https://www.macrotrends.net/stocks/charts/VSLR/vivint-solar/gross-margin>.
- [104] «Profit Margins Made By Solar EPCs,» *Solar Mango*, 06 10 2016.
- [105] «Solar installer rates survey,» *EcoGeneration*, 22nd September, 2017.
- [106] «EMCOR Profit Margin 2006-2018 | EME,» [En línea]. Available: <https://www.macrotrends.net/stocks/charts/EME/emcor/profit-margins>.
- [107] D. Feldman, J. Hoskins y R. Margolis, «Q4 2017/Q1 2018 Solar Industry Update,» NREL, 2018.
- [108] IRENA, «Renewable Energy and Jobs - Annual Review 2018,» International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, Emiratos Árabes Unidos, 2018.
- [109] IRENA, «Renewable Energy and Jobs - Annual Review 2017,» International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, Emiratos Árabes Unidos, 2017.
- [110] CONOCER, *EC0586.01 Instalación de sistemas fotovoltaicos en residencia, comercio e industria*, Ciudad de México, México, 2017.

- [111] SENER, «Programa Especial para la transición Energética: Avance y Resultados 2017,» Gobierno Federal, Ciudad de México, México, 2017.
- [112] S. Stephenson, Addressing Local Content Requirements in a Sustainable Energy Trade Agreement, Geneva, Switzerland: International Centre for Trade and Sustainable Development (ICTSD), June 2013.
- [113] SE, *Metodología para la medición del grado de contenido nacional en las asociaciones y contratos para las actividades de construcción e instalación de obras y proyectos de ampliación y modernización de la infraestructura para prestar el Servicio Público de Tr*, Ciudad de México: Diario Oficial de la Federación, 2018.
- [114] J.-C. Kuntze y T. Moerenhout, Local content Requirements and the Renewable Energy Industry – A good match? ICTSD Issues Paper, September 12, 2012.
- [115] Opinión, «El contenido nacional en actividades prioritarias,» *Energía Hoy*, 4 Octubre, 2016.
- [116] «Sistema de Información Arancelaria Vía Internet (SIAMI),» Secretaría de Economía, [En línea]. Available: <http://www.economia-snci.gob.mx/siavi4/fraccion.php>.
- [117] DECRETO por el que se modifican la Tarifa de la Ley de los Impuestos Generales de Importación y de Exportación..., DOF, 23/11/2012 .
- [118] N. S. Sada, PROPOSICIÓN DE LA SEN. NINFA SALINAS SADA, DEL GRUPO PARLAMENTARIO DEL PARTIDO VERDE ECOLOGISTA DE MÉXICO, CON PUNTO DE ACUERDO RELATIVO A LA RECLASIFICACIÓN ARANCELARIA DE LOS PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS, 16/02/2016.
- [119] E. MARCANO, «Quitan arancel de 15% a importación de paneles solares,» *El Heraldo de México*, 9 julio 2019.
- [120] Secretaría de Economía (SE), «Sistema de Información Arancelaria Vía Internet (SIAMI),» [En línea]. Available: <http://www.economia-snci.gob.mx/siavi4/fraccion.php>.
- [121] CEMAC, «Benchmarks of Global Clean Energy Manufacturing,» Colorado, EE.UU., 2017.
- [122] DOF, *Ley de Ciencia y Tecnología*, Ciudad de México, México: Diario Oficial de la Federación, 2015.

- [123] M. Osborne, «SunPower enters major China manufacturing JV for P-Series solar modules,» *PV Tech*, 24 Febrero 2017.
- [124] ASOLMEX, «Iniciativa Solar para el impulso de la energía solar fotovoltaica de gran escala,» Ciudad de México, 2016.
- [125] A. T. A. Alejandro Velazquez, Interviewee, *Comunicación personal*. [Entrevista]. 2018.
- [126] «Instaladores de Sistemas Fotovoltaicos en México,» [En línea]. Available: <https://es.ensolar.com/directory/installer/Mexico>.
- [127] IMP, «Cartera de necesidades de innovación y desarrollo tecnológico. Energía Solar Fotovoltaica,» IMP, Ciudad de México, 2016.
- [128] SE, «Informe sobre los avances en la implementación de las estrategias para el fomento industrial de cadenas productivas locales y para el fomento de la inversión directa en la industria eléctrica,» Secretaría de Economía, Ciudad de México, 2018.

Glosario

Apalancamiento financiero	Consiste en utilizar algún mecanismo (como deuda) para aumentar la cantidad de dinero que se puede destinar a una inversión.
Baja tensión	Es el nivel de tensión que incluye a los sistemas con tensiones menores o iguales a 1 kV; aunque las tensiones de servicio típicas, en corriente alterna (CA), son de 127, 220 o 380 V.
Balance de sistema	(<i>Balance of System, BoS</i>). Involucra a todo equipo y dispositivo que forma parte de un sistema fotovoltaico, excluyendo a los módulos fotovoltaicos.
Cadena de valor	Conjunto de actividades, tales como investigación y desarrollo, diseño, fabricación ensamble, producción de partes, mercadeo, instalación, puesta en marcha, servicio y reciclaje, que un sector industrial realiza para entregar un bien.
Capacidad de generación	Carga máxima que un sistema de generación puede alimentar, bajo condiciones establecidas y por un período determinado. Se da en unidades de potencia pico (W_p , kW_p , MW_p , principalmente).
Contenido nacional	Es la proporción en la cual los bienes, servicios y mano de obra de origen nacional tienen participación en la instalación de un SFV. Se puede medir en porcentaje o en moneda.
Corriente (eléctrica)	Es el flujo de electrones que se establece a través de un conductor eléctrico debido a una diferencia de tensión entre sus extremos. Se mide en Amperes (A)
Corriente alterna (c.a.)	Es aquella corriente eléctrica cuyo flujo se invierte periódicamente a una frecuencia establecida; para México, 60 Hertz (Hz).
Corriente continua (c.c.)	Es aquella corriente eléctrica cuyo flujo es continuo y no depende de una frecuencia.
Costo	Es la cantidad de dinero que se invierte para producir un bien o servicio antes de que se oferte o venda. Es el dinero invertido en producción, mercadeo y distribución, principalmente. El costo es menor que el precio.
Costo instalado	Es la cantidad de dinero por la que se cotiza un sistema fotovoltaico y se mide en USD/W_p ; considera los costos de

recursos materiales y humanos, así como las ganancias del vendedor, pero desprecia el IVA.

Distribuidora

Empresa encargada de proveer equipos y/o componentes para un sistema fotovoltaico luego de haberlos adquirido a través de los fabricantes y/u otros distribuidores.

Empleo directo

Es aquél que se genera en los sectores donde se ejercen las inversiones principales de una industria de referencia. Generalmente se clasifican en actividades de manufactura de los componentes fundamentales para la industria estudiada.

Empleo indirecto

Es el empleo clasificado en los sectores afectados indirectamente por la inversión en una industria de referencia. Un empleo indirecto figura en unidades económicas que suministran bienes y servicios a los sectores económicos directamente afectados por las inversiones.

Empleo inducido

Es el empleo creado a causa del consumo de los bienes y servicios originado por la inversión en una industria de referencia; es decir el consumo de los empleados directos e indirectos. Aparece en actividades económicas externas a la cadena de suministro de la industria estudiada.

**Ensambladora /
Fabricante**

Empresa dedicada a la producción en serie de equipos y/o componentes para un sistema fotovoltaico. Estos productos pueden ser: módulos fotovoltaicos, inversores, cable solar, estructuras para montaje, entre otros.

**EPC (Engineering,
Procurement and
Construction)**

Es una forma de acuerdo de contrato en la industria de la construcción. El contratista de ingeniería y construcción asumirá el diseño de ingeniería detallado del proyecto, adquirirá los materiales y equipos necesarios y luego construirá para entregar una instalación en funcionamiento al cliente. Básicamente incluye los servicios de diseño, suministro y construcción. También es denominado popularmente como contrato "llave en mano".

**Generación de energía
eléctrica**

Producción de energía por el consumo de alguna otra forma de energía de cualquier naturaleza.

Generación Distribuida

Es la generación de energía eléctrica que a) se realiza por un Generador Exento, en términos de la LIE, y b) se realiza en una Central Eléctrica que se encuentra interconectada a un circuito de distribución que contenga una alta concentración de Centros de Carga en los términos de las Reglas del Mercado.

**Generación Distribuida
Fotovoltaica**

Es la Generación Distribuida que se realiza a partir de energía solar fotovoltaica.

Generación Limpia Distribuida	Es la Generación Distribuida que se realiza a partir de energías limpias, tales como: eólica, solar, solar-eólica, biomasa, biogás.
Integradora (de sistemas fotovoltaicos)	Empresa que tiene por objeto la ingeniería de proyecto de sistemas fotovoltaicos. En su caso, también tendrá la competencia para instalar, poner en marcha y, en algunos casos, ofrecer mantenimiento a dicho sistema.
Media tensión	Se refiere a sistemas con tensiones en corriente alterna CA bien establecidas y que, típicamente, van de 2.4 kV hasta 34.5 kV
Precio	Es la cantidad de dinero que un cliente está dispuesto a pagar para adquirir algún producto o servicio. Incluye costos de producción y ganancias para el vendedor; se dice que representa el verdadero valor del producto o servicio. El precio es mayor que el costo.
Precio marginal local (PML)	Precio de la energía eléctrica en un nodo determinado del Sistema Eléctrico Nacional para un período definido, calculado de conformidad con las Reglas del Mercado y aplicable a las transacciones de energía eléctrica realizadas en el Mercado Eléctrico Mayorista.
Revista arbitrada	Es aquella donde el proceso de admisión de artículos para publicación se lleva a cabo a través de una revisión por parte de expertos con reconocimiento y credibilidad nacional o internacional, conocidos como árbitros.
Sistema fotovoltaico	El total de componentes y subsistemas que, combinados, convierten la energía solar en energía eléctrica apropiada para conectar una carga de utilización.
Sistema monofásico	Se dice de aquel sistema eléctrico o instalación que usa una corriente alterna con un valor de tensión, a una frecuencia de 60 Hertz (Hz) en México.
Sistema trifásico	Se dice de aquel sistema eléctrico o instalación que usa tres corrientes alternas de igual valor eficaz con tres tensiones disponibles, a una frecuencia de 60 Hertz en México.
Tensión eléctrica	Es la diferencia de potencial eléctrico que se establece entre dos puntos de un elemento energizado o dos conductores eléctricos. Se mide en Volts (V).

ANEXO. Perspectiva de oportunidades de negocio vinculadas a la generación distribuida fotovoltaica en México

Las oportunidades de negocio que representa la **GDFV** en el ámbito nacional, pasan por la provisión de bienes intermedios y componentes, la integración, operación, mantenimiento y monitoreo de los sistemas y la capacitación del elemento humano participante. Se considera que, a diferencia de algunos sectores económicos de alto riesgo, donde se presentan oportunidades de gran retorno de la inversión en plazos cortos, por ejemplo, el comercio electrónico o las aplicaciones de dispositivos de comunicación móviles (mobile apps), el sector solar fotovoltaico no genera riqueza tan rápidamente. Lo usual, es que en la cadena de valor de la **GDFV** los retornos de inversión se logren en el mediano a largo plazo, es decir, más allá de cinco años.

Como en cualquier negocio, antes de la toma de decisiones para incursionar en un negocio del ámbito fotovoltaico, y en particular en lo que corresponde a los **SFV-GD**, se recomienda siempre realizar un análisis propio, teniendo en cuenta la competencia existente, el retorno financiero y el riesgo asociado.

Con el propósito de presentar una perspectiva de las oportunidades de negocio vinculadas a la **GDFV** en México, se ha preparado la información que se presenta en este anexo consistente en cuatro tablas principales con desglose de segmentos de oportunidad de negocio, como sigue:

- **Tabla A1.** Oportunidades de negocio relacionadas con la provisión de productos; típicamente para grandes empresas.
- **Tabla A2.** Oportunidades de negocio relacionadas con la provisión de productos; típicamente para PyME's.
- **Tabla A3.** Oportunidades de negocio relacionados con la provisión de servicios técnicos; típicamente para PyME's.
- **Tabla A4.** Oportunidades de negocios relacionados con la provisión de servicios generales; típicamente para PyME's.

Las Tablas A1 y A2 se refieren a la proveeduría de materias primas y componentes; en tanto que las Tablas A3 y A4 se refieren al mercado de servicios.

La información que se presenta se ha adaptado de la información presentada en el artículo "I Wish to Do Business in the Solar Energy Sector. Which is the Best Biz Opportunity?", publicado por la consultora Solar Mango de la India²⁷. Si bien, las consideraciones que en esta publicación se presentan son enfocadas al contexto de la India, en general pueden ser aplicables al contexto de México. Considérese que por ser la industria fotovoltaica un fenómeno global²⁸,

²⁷ I Wish to Do Business in the Solar Energy Sector. Which is the Best Biz Opportunity? Solar Mango <http://www.solarmango.com/ask/2015/07/20/i-wish-to-do-business-in-the-solar-energy-sector-which-is-the-best-biz-opportunity/>

²⁸ How The Solar PV Industry Became A Global Phenomenon. Clean Technica. September 12th, 2013 by Giles Parkinson.

por el contexto de economía emergente de la India al igual que la de México, y debido al perfil de crecimiento de la generación distribuida registrado en ambos países, los retos tecnológicos y de mercado mantienen similitudes. Cabe destacar que la India presenta un avance más acelerado que el de México en su industria fotovoltaica. En 2018 la India fue el segundo mercado global fotovoltaico por debajo de China²⁹, y está emergiendo como un productor significativo de celdas y módulos. De enero a julio de 2018, las instalaciones en techo –en la India–, superaron los 800 MW, de los cuales, el 27% fue instalado sólo por 10 empresas³⁰. Lo anterior es un indicativo de la alta fragmentación del mercado de generación distribuida, similar a lo que sucede en México.

Las tablas presentan cuatro vectores de análisis para cada caso: detonadores clave, riesgo, competencia e inversión. Aun cuando los considerandos vertidos para cada caso son primordialmente cualitativos, se ha intentado reflejar en la medida de lo posible la situación que prevalece en México.

Los **detonadores clave** presentan conceptos de índole general particulares del entorno de México, los cuales van desde el ámbito de la política pública hasta cuestiones particulares de la industria.

La **competencia** pondera someramente el segmento del mercado con base en factores como el número de competidores actuando dentro del mercado nacional, la calidad de los productos que ofrecen y su precio. Por ejemplo, en el caso de la manufactura de módulos se considera al segmento como muy dinámico y altamente competido, debido a la dominancia de los fabricantes asiáticos en términos de diversidad, así como por la calidad y bajo precio ofertado.

La **inversión** se pondera en términos de su magnitud y del período de retorno estimado. Para ello, se consideran como referencia las siguientes escalas:

Grado de inversión	Monto (MM USD)	Período de retorno de inversión	Años
Bajo	≤ 1	Corto plazo	≤ 3
Medio	1 – 10	Mediano plazo	3 – 5
Alto	≥ 10	Largo plazo	≥ 5

En los Estados Unidos, como referencia, se considera que un instalador de sistemas fotovoltaicos residenciales, puede iniciarse en el negocio con tan sólo 8,750 USD (175,000 MXN a un tipo de cambio de 20 MXN/USD), en tanto que una empresa instaladora enfocada

²⁹ Desai, Sahaj. The Path to 100 Gigawatts: How India Has Emerged as a Global Leader in Solar Energy, NextBillion. June 22, 2018.

³⁰ Gupta, Uma. India added world's second largest PV capacity in first half of 2018. PV magazine. October 16, 2018.

en la escala comercial puede requerir una inversión superior a los 500,000 USD. La rentabilidad y el período de retorno de inversión depende del margen bruto logrado, lo que va en función de la estrategia comercial que se siga.

Tratándose de temas de manufactura de tecnología fotovoltaica se refieren algunos casos como se presenta en la siguiente tabla.

Producto	Inversión estimada		Producción por año		Valor del producto		Margen bruto	Período de recuperación		Ref.
Silicio metalúrgico	200	MM USD	33	Mt	4	USD/kg	20%	8	años	1
Polisilicio	826	MM USD	60	Mt	10	USD/kg	20%	7	años	2
Celdas Si-c	125.5	MM USD	1,000	MW _p	0.2	USD/W _p	10%	6	años	3
Módulos Si-c	50	MM USD	400	MW _p	0.35	USD/W _p	12%	3	años	4
Módulos Si-c	28	MM USD	500	MW _p	0.35	USD/W _p	12%	1	años	5
Módulos Si-c de media celda tipo N	150	MM USD	600	MW _p	0.35	USD/W _p	20%	4	años	6

(1) <https://www.sms-group.com/press-media/press-releases/press-detail/successful-commissioning-of-the-silicon-metal-plant-of-mississippi-silicon-usa-495/>

(2) <https://www.pv-magazine.com/2017/04/06/gcl-poly-investing-826m-in-construction-of-60000-mt-polysilicon-plant-in-china/>

(3) <https://www.pv-tech.org/news/longi-to-build-new-1gw-mono-solar-cell-plant-in-malaysia>

(4) <https://www.powerinfoday.com/solar-energy/jinkosolar-officially-opens-400mw-module-assembly-plant-in-us/>

(5) <https://www.pv-tech.org/news/lg-electronics-establishing-a-500mw-solar-module-manufacturing-plant-in-us>

(6) <https://www.pv-tech.org/news/rec-group-launching-380wp-60-cell-module-with-600mw-capacity-and-us150-million>

MM USD = Millones de dólares (USD)

Mt = Miles de toneladas

Como se observa, en general los niveles de inversión para lograr costos competitivos en la producción de silicio metalúrgico, polisilicio y celdas de silicio cristalino son altos, con períodos de recuperación que van del mediano al largo plazo. Por lo que respecta a la producción de módulos, los niveles de inversión que se están registrando también son altos con nuevas plantas de gran capacidad, reflejándose en la notable disminución que se está teniendo en el precio. No obstante, es posible el establecimiento de plantas de ensamble de módulos en capacidades modestas; por ejemplo, para una producción de 10 MW_p por año, la inversión requerida se ubica por debajo de los 2 millones de USD.

El **riesgo** se considera, para efectos de este documento, como la exposición que un negocio tiene a factores que disminuirán sus beneficios o lo conducirán al fracaso. Los factores considerados para un riesgo alto son inversión de mediana a alta con retorno de mediano a largo plazo, y a la par, alta competencia en el mercado. En este sentido, el riesgo se pondera como

bajo, mediano o alto; siendo riesgo bajo un equivalente a alta probabilidad de éxito y, por el contrario, riesgo alto es un indicativo de baja probabilidad de éxito.

Aspectos importantes a considerar para iniciar un negocio de manufactura de módulos FV

1. Establecimiento de la planta de manufactura con herramientas, maquinaria y suministros necesarios, de acuerdo con el tipo de módulos y el volumen de producción previsto.
2. Definición de una ventaja competitiva de los módulos a fabricar, por ejemplo, módulos innovadores, mejor desempeño que módulos similares importados o nacionales, costo menor de producción, mayor calidad de manufactura, mayor confiabilidad y durabilidad, o mayores garantías.
3. Contratación de personal capacitado y certificado de acuerdo con el segmento específico del proceso de manufactura, tales como maquinado CNC o soldaduras especiales.
4. Contratación de consultores internacionales que guíen la incubación del negocio: estrategia y plan de negocio, nicho de mercado a cubrir, definición de productos, volúmenes de producción, tecnologías y costos de manufactura, aseguramiento de calidad, pruebas, localización y diseño de la planta, financiamiento y distribución del producto.
5. La manufactura de módulos puede ser desarrollada como una industria artesanal o como una industria plenamente automatizada dependiendo de la capacidad de inversión de que se disponga.

Fuente: Texto adaptado³¹.

³¹ How do I start up a solar panel manufacturing industry? What are the requirements and what about investment?
<https://www.quora.com/How-do-I-start-up-a-solar-panel-manufacturing-industry-What-are-the-requirements-and-what-about-investment>

Tabla A1. Oportunidades de negocios relacionados con la provisión de productos; típicamente para grandes empresas.

Oportunidad de negocio	Detonadores clave	Competencia	Inversión	Riesgo
Producción de polisilicio	Política pública e incentivos de apoyo	Alta	Alta con retorno a largo plazo	Alto
	Suministro eléctrico de bajo costo			
	Escala de producción para economía competitiva (~10 Mt / año)			
Producción de lingotes y obleas	Política pública e incentivos de apoyo	Alta	Alta con retorno a largo plazo	Alto
	Suministro eléctrico de bajo costo			
	Escala de producción para economía competitiva (>100 MW/año con tendencia a >1 GW/año)			
Desarrollo y manufactura de celdas solares	Política pública de apoyo / Alianzas entre ensambladores de módulos	Mediana a Alta	Alta con retorno a largo plazo	Mediano-Alto
	Alianzas con instituciones y centros I+D+i nacionales e internacionales			
	Escala y tecnología de producción para economía competitiva			
Manufactura de vidrio solar	Dominio de la tecnología	Baja a mediana	Mediana con retorno a mediano plazo	Mediano
	Precios competitivos			
Desarrollo y manufactura de módulos FV de película delgada	Política pública de apoyo	Mediana	Mediana-Alta con retorno a mediano plazo	Mediano-Alto (riesgo tecnológico latente)
	Productos con eficiencias incrementadas			
	Diferenciación de productos (p.ej. flexibilidad y colores)			
	Escala y tecnología de producción para economía competitiva			
Desarrollo y manufactura de tejas FV	Política pública de apoyo	Mediana	Mediana-Alta con retorno a mediano plazo	Mediano-Alto (riesgo tecnológico latente)
	Productos con eficiencias incrementadas			
	Diferenciación de productos (estilos y colores)			
	Escala y tecnología de producción para economía competitiva			
Reciclaje de módulos FV / Materiales reciclados	Política pública e incentivos de apoyo	Baja	Alta con retorno a largo plazo	Mediano-Alto
	Integración de una cadena nacional de recolección			
	Grandes volúmenes de módulos de desecho			

Tabla A2. Oportunidades de negocios relacionados con la provisión de productos; típicamente para PyME's.

Enfoque de negocio	Detonadores clave	Competencia	Inversión	Riesgo
Manufactura de módulos FV de silicio cristalino con tecnologías más costo-eficientes (ej. PERC / tipo-N / media celda)	Política pública de apoyo: desarrollo de proveedores	Alta	Mediana con retorno a mediano plazo	Mediano
	Productos de alta eficiencia y durabilidad			
	Escala y tecnología de producción para economía competitiva			
Manufactura de módulos FV bifaciales y de tecnologías híbridas	Política pública de apoyo: desarrollo de proveedores	Alta	Mediana con retorno a mediano plazo	Mediano
	Productos de alta eficiencia y durabilidad			
	Alianzas con integradores de sistemas y empresas de ingeniería, procura y construcción (EPC's)			
Manufactura de inversores y microinversores	Precios competitivos	Alta	Mediana-Alta con retorno a mediano plazo	Mediano-Alto
	Tecnologías apropiadas para el contexto mexicano			
	Escala y tecnología de producción para economía competitiva			
Manufactura de cable solar y conectores	Política pública de apoyo: desarrollo de proveedores	Alta	Mediana con retorno a mediano plazo	Mediano-Alto
	Certificación internacional y precio competitivo			
	Escala y tecnología de producción para economía competitiva			
Manufactura de cajas de conexión y cajas combinadoras	Política pública de apoyo: desarrollo de proveedores	Alta	Mediana con retorno a mediano plazo	Mediano-Alto
	Certificación internacional y precio competitivo			
	Escala y tecnología de producción para economía competitiva			
Manufactura de medios de desconexión (seccionadores c.c.)	Política pública de apoyo: desarrollo de proveedores	Alta	Mediana con retorno a mediano plazo	Mediano-Alto
	Certificación internacional y precio competitivo			
	Escala y tecnología de producción para economía competitiva			
Manufactura de fusibles y portafusibles c.c.	Política pública de apoyo: desarrollo de proveedores	Alta	Mediana con retorno a mediano plazo	Mediano-Alto
	Certificación internacional y precio competitivo			
	Escala y tecnología de producción para economía competitiva			

Enfoque de negocio	Detonadores clave	Competencia	Inversión	Riesgo
Manufactura de dispositivos de protección contra picos de corriente	Política pública de apoyo: desarrollo de proveedores	Alta	Mediana con retorno a mediano plazo	Mediano-Alto
	Certificación internacional y precio competitivo			
	Escala y tecnología de producción para economía competitiva			
Manufactura de perfiles estructurales y accesorios de montaje de aluminio y acero	Diseños y materiales apropiados para el contexto mexicano	Baja-Mediana	Baja-Mediana con retorno a mediano plazo	Mediano
	Alianzas con integradores de sistemas y empresas de ingeniería, procura y construcción (EPC's)			
Manufactura de hornos y equipo para la producción de polisilicio	Política pública de apoyo: desarrollo de proveedores	Alta	Mediana con retorno a mediano plazo	Mediano
	Productos de alta eficiencia y durabilidad			
	Escala y tecnología de producción para economía competitiva			
Manufactura de hornos, equipo y herramientas para la producción de lingotes y obleas	Política pública de apoyo: desarrollo de proveedores	Alta	Mediana con retorno a mediano plazo	Mediano
	Productos de alta eficiencia y durabilidad			
	Alianzas con integradores de sistemas y empresas de ingeniería, procura y construcción (EPC's)			
Manufactura de líneas de producción de obleas	Precios competitivos	Alta	Mediana-Alta con retorno a mediano plazo	Mediano-Alto
	Tecnologías apropiadas para el contexto mexicano			
	Escala y tecnología de producción para economía competitiva			

Tabla A3. Oportunidades de negocios relacionados con la provisión de servicios técnicos; típicamente para PyME's.

Oportunidad de negocio	Detonadores clave	Competencia	Inversión	Riesgo
Integrador de sistemas FV de generación distribuida (< 500 kW)	Procura costo efectiva	Mediana	Baja con retorno a corto plazo	Bajo-Mediano
	Reconocimiento como proveedor confiable			
	Comercialización / Promoción			
	Diferenciación de productos y servicios			
Ingeniería, procura y construcción (EPC) de generación distribuida (< 500 kW)	Procura costo efectiva	Mediana	Baja con retorno a corto plazo	Bajo-Mediano
	Comercialización / Promoción / Alianzas con integradores			
	Diferenciación de productos y servicios			
Operación y mantenimiento de plantas FV de generación distribuida (< 500 kW)	Procura costo efectiva	Baja	Baja con retorno a corto plazo	Bajo-Mediano
	Comercialización / Promoción			
	Diferenciación de productos y servicios			
Subcontratistas: diseño, estudios, instalaciones eléctricas	Procura costo efectiva	Mediana	Baja con retorno a corto plazo	Bajo-Mediano
	Alianzas con integradores y empresas EPC			
Prueba y certificación de módulos, inversores y componentes	Alta especialización tecnológica y del factor humano	Baja-Mediana (laboratorio nacional para prueba de módulos, sólo LANEFV - IER UNAM)	Mediana con retorno a mediano plazo	Mediano
	Desarrollo y acreditación de laboratorios de prueba			
	Alianzas con fabricantes, instituciones académicas/de investigación y laboratorios alternos.			
Inspección y verificación de la instalación eléctrica de plantas FV	Acreditación oficial como UVIE o UI	Baja	Baja con retorno a corto plazo	Bajo-Mediano
	Capacitación y certificación del personal técnico			
	Alianzas entre integradores, UVIE y UI			

Tabla A4. Oportunidades de negocios relacionados con la provisión de servicios generales; típicamente para PyME´s.

Oportunidad de negocio	Detonadores clave	Competencia	Inversión	Riesgo
Consultoría legal: contratos y permisos	Actualización del marco legal (ej. derecho al acceso a la luz solar)	Baja	Baja con retorno a corto plazo	Bajo
	Consolidación del marco regulatorio			
	Servicios diferenciados con precios competitivos			
	Conocimiento de los aspectos legales del ramo			
Servicios de seguridad y vigilancia	Alianzas con integradores	Mediana	Baja con retorno a corto plazo	Bajo-Mediano
	Comercialización / Promoción			
	Diferenciación tecnológica y de servicios			

Tabla A5. Oportunidades de negocios relacionados con la provisión de servicios educativos.

Oportunidad de negocio	Detonadores clave	Competencia	Inversión	Riesgo
Capacitación y certificación técnica	Política pública de educación en tecnologías de energías renovables	Mediana	Baja con retorno a corto plazo	Bajo
	Requerimiento de capacitadores certificados			
	Calidad y acreditación de planes de estudio teórico-prácticos			
Formación de recursos humanos con educación superior	Política pública de educación en tecnologías de energías renovables	Mediana	Baja con retorno a corto plazo	Bajo
	Alianzas con la industria manufacturera y empresas integradoras FV			
	Calidad educativa y acreditación de planes de estudios superiores			

Tabla A6. Oportunidades de negocios para el sector financiero y de seguros.

Oportunidad de negocio	Detonadores clave	Competencia	Inversión	Riesgo
Financiamiento de proyectos FV	Política pública de apoyo: fondos de garantía	Baja	Baja-Mediana con retorno a mediano plazo	Bajo-Mediano
	Difusión de la tecnología en el ramo financiero			
	Servicios diferenciados con plazos y tasas competitivas			
	Comercialización / Promoción			
Apalancamiento de empresas de proveeduría de componentes y sub-componentes	Política pública e incentivos de apoyo	Mediana-Alta	Mediana con retorno de corto a mediano plazo	Mediano-Alto
	Difusión de la tecnología en el ramo financiero			
	Servicios diferenciados con plazos y tasas competitivas			
	Comercialización / Promoción			
Seguros de responsabilidad civil contra riesgos de construcción, montaje y operación de plantas FV	Difusión de la tecnología en el ramo asegurador	Baja	Baja-Mediana con retorno a mediano plazo	Bajo-Mediano
	Servicios diferenciados con precios competitivos			
	Comercialización / Promoción			
Seguros contra baja producción por radiación solar disminuida	Difusión de la tecnología en el ramo asegurador	Baja	Baja con retorno a mediano plazo	Bajo
	Servicios diferenciados con precios competitivos			
	Comercialización / Promoción			