



Munich Personal RePEc Archive

Share of installed photovoltaic capacity in Mexico: a benchmarking analysis

Juárez-Luna, David and Urdiales, Eduardo

Universidad Anáhuac México, Universidad Anáhuac México

October 2021

Online at <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/114589/>
MPRA Paper No. 114589, posted 16 Sep 2022 06:58 UTC

Participación de la capacidad fotovoltaica instalada en México: un análisis benchmarking

David Juárez-Luna¹ Eduardo Urdiales²

Resumen

El objetivo de este artículo es identificar políticas concretas que impulsen la participación de la capacidad FV instalada en la canasta energética de México. Para ello, se emplea el análisis benchmarking, el cual brinda una perspectiva comparativa entre México y los países que tienen la mayor capacidad FV instalada en el mundo. El análisis sugiere que para impulsar la participación de la capacidad FV instalada se debe realizar una planeación integral a largo plazo de la industria FV mexicana que tenga como eje rector a las Redes Eléctricas Inteligentes donde se privilegie a la electricidad FV. En dicho plan integral, el punto de partida debe consistir en implementar cuatro políticas: a) subvención de capital, concesión o rebaja; b) crédito fiscal a la inversión o producción; c) inversión pública, y; d) el impulso a la investigación y el desarrollo de tecnología FV.

Palabras clave: Electricidad fotovoltaica, Políticas energéticas, Benchmarking, Planeación energética, Redes eléctricas inteligentes.

Share of installed photovoltaic capacity in Mexico: a benchmarking analysis

Abstract

This paper aims to identify specific policies that promote the participation of installed PV capacity in Mexico's energy basket. We apply a benchmarking analysis, which provides a comparative perspective between Mexico and the countries with the highest installed PV capacity in the world. The analysis suggests that, in order to boost the participation of installed PV capacity, a long-term planning of the Mexican PV industry should be carried out, with Smart Electric Grids as the leading principle, focusing on PV electricity. In such plan, the starting point should consist of implementing four policies: a) capital subsidy, concession or rebate; b) tax credit for investment or production; c) public investment, and; d) the promotion of research and development of PV technology.

Key words: Photovoltaic electricity, Energy policies, Benchmarking, Energy planning, Smart electrical grids.

¹ Quinto piso del CAIDE. Universidad Anáhuac México. Av. Universidad Anáhuac 46, Col. Lomas Anáhuac, Huixquilucan, Estado de México, México. C. P 52786. Teléfono: 5556270210. Ext. 8344. E-mail: david.juarez@anahuac.mx. ORCID 0000-0002-8013-699X

² Facultad de Economía y Negocios, Universidad Anáhuac México. Correo electrónico: eduardo.urdialesme@anahuac.mx. ORCID 0000-0002-4431-295X

1. Introducción

La participación de la capacidad fotovoltaica (FV) instalada correspondió al 6.4% del total de la capacidad eléctrica mexicana para el año 2020 (IRENA, 2020).³ Este hecho es contrastante con los altos niveles de irradiación solar con los que cuenta México. Los cuales van de los 4.4 kWh/m² por día, en la zona centro, a los 6.3 kWh/m² por día en el norte del país (The World Bank, 2017).⁴ Por otro lado, México se comprometió a reducir el 22% de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero y 51% de las emisiones de carbono negro al año 2030 respecto al escenario tendencial (SEMARNAT, 2020). De donde, se esperaría una mayor participación de la capacidad FV instalada para cumplir dicho compromiso. Partiendo de lo anterior, es necesario implementar políticas que impulsen la participación de la capacidad FV instalada en México.

El objetivo de este artículo es identificar políticas concretas que impulsen la participación de la capacidad FV instalada en la canasta energética de México. Para ello, se emplea el análisis benchmarking, el cual brinda una perspectiva comparativa entre México y los países que tienen la mayor capacidad FV instalada en el mundo. En cada país se analiza la incidencia de las mejores prácticas [benchmark] en relación con la capacidad FV instalada. Para el presente análisis, dichas mejores prácticas se corresponden con las doce políticas que, de acuerdo con la literatura, impulsan la capacidad FV instalada en un país: *i) Subvención o subsidios de capital* (Yuan, 2014; Zhang *et al.*, 2011; Jeong, 2013; Karteris, 2012; Zhai *et al.*, 2012; Barbose *et al.*, 2008; Díez-Mediavilla *et al.*, 2010; Hansen *et al.*, 2015); *ii) Créditos fiscales a la inversión o producción*⁵ (Burns y Kang, 2012; Yu *et al.*, 2014); *iii) Inversión estatal* (Streimikien, 2007; Shuai *et al.*, 2019; Wu *et al.*, 2018; Avril *et al.*, 2012); *iv) Reducción de impuestos* (Sudhakar y Painuly, 2004; Hansen *et al.*, 2015;

³ Para el año 2000, solo el 0.41% de total de la energía eléctrica generada en México se generó a través de tecnología fotovoltaica (IRENA, 2020).

⁴ Para poner estas cifras en contexto, la irradiación solar de Alemania es de menos de 3.15 kWh/m² al día. Sin embargo, en el año 2018, su capacidad FV instalada correspondió al 21.95% de la capacidad instalada total (IRENA, 2020).

⁵ Los créditos fiscales son utilizados para financiar energías renovables en forma compensatoria. La compensación consiste en reducir a hogares y empresas el importe de la inversión de la cuantía que les toca pagar al Fisco, hasta un determinado porcentaje (Kosonen y Nicodème, 2009).

Nicolli y Vona, 2016; García-Álvarez et al., 2018); v) *Pago por energía producida* (McKenna et al., 2018; Pearce et al., 2018; Yadav, 2019; Muñoz et al., 2018; Varghese y Sioshansi, 2020); vi) *Subastas o licitaciones estatales* (Burns y Kang, 2012; Mir-Artigues, 2018; Malagueta et al., 2013; Bayer, 2018; Sirin y Sevindik, 2021); vii) *Feed in Tariff y Feed in Premium*⁶ (Johnstone et al., 2010; Chimres et al., 2018 ; Zhang et al., 2014; Balcombe et al., 2014; Koo, 2017; Barbosa, 2020; Yang et al., 2018); viii) *Cuotas o Renewable Portfolio Standard* (Sarzynski et al., 2012; Cargo, 2018; Xin-gang et al., 2020; Kwon, 2015; Abdmouleh et al., 2015); ix) *Net metering* (REN 21, 2017; Watts et al., 2015; Castaneda, 2018; Rubio-Aliaga et al., 2019; Ramírez, 2017; Jia et al., 2020; Michaud, 2016; Abdmouleh et al., 2015); x) *Bonos o certificados verdes* (Schallenberg-Rodriguez, 2017; Wang et al., 2014; Năstase et al., 2018; Olczak et al., 2021); xi) *Desarrollo de capital intelectual, técnico y profesional* (Choi y Anadón, 2014; Carstens y Cunha, 2019), y; xii) *Investigación y desarrollo* (Best y Burke, 2018; Carley et al., 2017; Dijkgraaf et al., 2018; Polzin et al., 2019, Mughal et al., 2018; Marques et al., 2019; Park et al., 2013; Liu et al., 2018).

Los datos se toman de la OCDE y la Agencia Internacional de Energía (OCDE/AIE, 2010 - 2020) y de la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA, 2020). Los datos para México provienen de las siguientes fuentes: Secretaría de Energía (SENER), Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), Comisión Reguladora de Energía (CRE), Centro Nacional de Control de Energía (CENACE), y de las asociaciones Nacional de Energía Solar (ANES) y Mexicana de Energía Solar (Asolmex) y de la Fundación Konrad Adenauer Stiftung, capítulo México.

El análisis sugiere que, para impulsar la participación de la capacidad FV instalada se debe realizar una *planeación integral a largo plazo de la industria FV mexicana* que tenga como eje rector a las Redes Eléctricas Inteligentes (REI) donde se privilegie a la FV. En dicho plan integral, el punto de partida debe consistir en

⁶ FIT es la política regulatoria que fija el precio de la electricidad que se paga a los productores de energía FV, por cada unidad de energía producida e inyectada en la red eléctrica. Por su parte FIP, es el tipo de política feed-in, en la que los productores de electricidad procedente de fuentes renovables -FV- venden electricidad a precios de mercado, y se añade una prima al precio de mercado para compensar los costos más elevados y, por lo tanto, mitigar los riesgos financieros de la producción de energías renovables (Sun y Nie, 2015).

implementar las políticas en las que coinciden los cuatro países que cuentan con la mayor capacidad FV instalada (China, Estados Unidos, Japón y Alemania), y que hoy no se consideran en México:

- i. subvención de capital, concesión o rebaja,
- ii. crédito fiscal a la inversión o producción,
- iii. Inversión pública
- xii. el impulso a la investigación y el desarrollo de tecnología FV.

Destaca el hecho de que la capacidad FV instalada de un país no depende directamente del número de políticas empleadas, sino de lo que hemos llamado la *intensidad conjunta de las políticas*. La cual se refiere a la interrelación que existe entre las políticas de un país.

La electricidad FV tiene varias ventajas de las que destacan: bajo costo de operación y mantenimiento; la fuente de energía es libre; genera energía limpia; es de alta disponibilidad; la generación se puede acercar al consumidor; no causa impactos ambientales (respetuosa con el medio ambiente); tiene potencial para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero, y; es silenciosa (Sampaio y González, 2017).⁷

La literatura enfocada al estudio de la electricidad FV en México es escasa. A este respecto, Urdiales (2014) abordan las acciones relevantes para establecer políticas públicas para promover el uso de la energía solar en centrales FV. Las principales empresas inversionistas en la industria FV en México son analizadas por Vargas-Hernández y Espinosa (2016). Además, León-Trigo *et al.* (2019) comparan el consumo real de energía eléctrica de un usuario residencial y la generación estimada por medio de paneles solares. También, se determina el efecto de los subsidios gubernamentales en la rentabilidad financiera de los sistemas FV en México (Becerra-Pérez *et al.*, 2020). En un par de estudios recientes, por un lado, se describe a la energía FV como mecanismo de energía renovable en México (Martínez Prats *et al.*, 2021). Por otro lado, se profundizar en las razones para

⁷ La electricidad FV tiene algunas desventajas como la intermitencia. Ver Sampaio y González (2017) y De Elejalde y Ponce (2016) para mayor detalle sobre las desventajas de la electricidad FV.

impulsar la generación de electricidad FV en México, a la par que se sugiere una agenda de investigación asociada a ella (Juárez-Luna y Urdiales, 2021).⁸

Destaca el artículo de Kumar *et al.* (2015) por ser el más cercano al presente artículo. Ellos establecen un benchmarking entre los países productores de electricidad a través de tecnología FV. No obstante, a diferencia del presente artículo, dichos autores se enfocan en analizar la evolución de la tecnología FV a partir de dos elementos: i) la capacidad FV instalada en cada país y el abaratamiento del costo de la tecnología; ii) la normativa vigente, que ha permitido la introducción de esquemas tarifarios como FIT y otras medidas e incentivos fiscales para evaluar el impacto en el precio de la energía en cada uno de los países que estudia.

El presente trabajo se divide en seis secciones. La segunda presenta la capacidad FV instalada e irradiación solar en México. En la tercera se detalla la metodología Benchmarking aplicada a la industria FV. El análisis Benchmarking de la industria FV en países seleccionados se presenta en la cuarta sección. En la quinta sección se presentan las políticas que impulsarán la participación de la capacidad fotovoltaica instalada en México. La sección seis presenta las conclusiones. En el apéndice se detallan, las centrales solares FV a gran escala, así como los programas de formación de capital humano relacionado a la industria FV, en México.

2. Capacidad FV instalada e irradiación solar en México

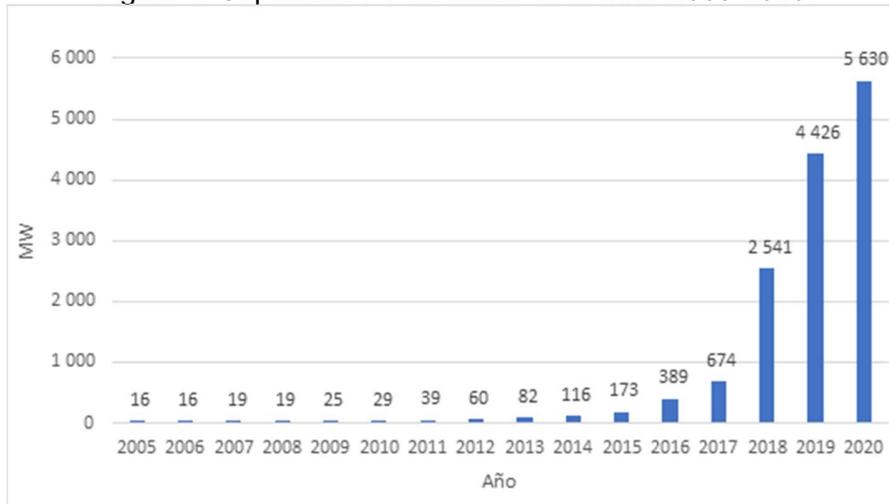
La presencia de la electricidad FV en México es relativamente reciente. En el año 2005, siguiendo la tendencia mundial,⁹ se firmó en México el primer contrato de interconexión FV en pequeña escala, con capacidad de 16MW. La primera central FV de gran escala se instaló en el año 2011, con lo que en ese año se llegó a una

⁸ Existen investigaciones asociadas a benchmarking en diferentes países para impulsar a la energía FV (Avril *et al.*, 2012; Strunz *et al.*, 2016; Raja *et al.*, 2006; Marinova y Balaguer, 2009; Guidolin y Montarino, 2010; Kumar, 2015).

⁹ En el año 2005 la capacidad FV instalada global alcanzó la barrera de los 5 GW (OCDE/AIE, 2010 - 2020). En ese mismo año diversos países lograron que los sistemas fotovoltaicos se incorporaran a la red eléctrica (AIE, 2019).

capacidad de instalada de 39 MW. Como se muestra en la Figura 1, el crecimiento exponencial de la capacidad FV instalada se dio a partir de la aprobación de la reforma energética, en el año 2013, la cual liberaliza la industria eléctrica.

Figura 1. Capacidad FV instalada en México 2005-2020.

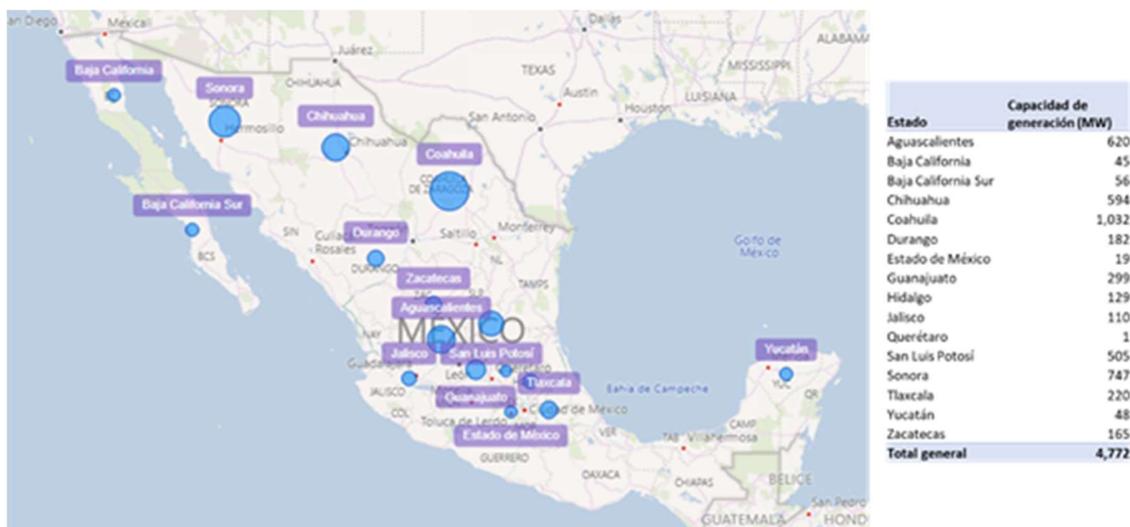


Fuente: Elaboración propia con base en IRENA (2020).

Para el año 2020, en México se alcanzaron los 5,630 MW de capacidad instalada conectada a la Red, repartida entre proyectos de gran escala y generación solar distribuida. Es de destacar que 4,772 MW provienen de 69 centrales solares FV a gran escala distribuidas en 16 estados del país como se muestra en la Figura 2.¹⁰

Figura 2. Centrales solares FV a gran escala en México (2020).

¹⁰ Los detalles de las centrales solares tales como desarrollador, su ubicación y, en su caso, la subasta en la que participó se encuentran en el apéndice 1.



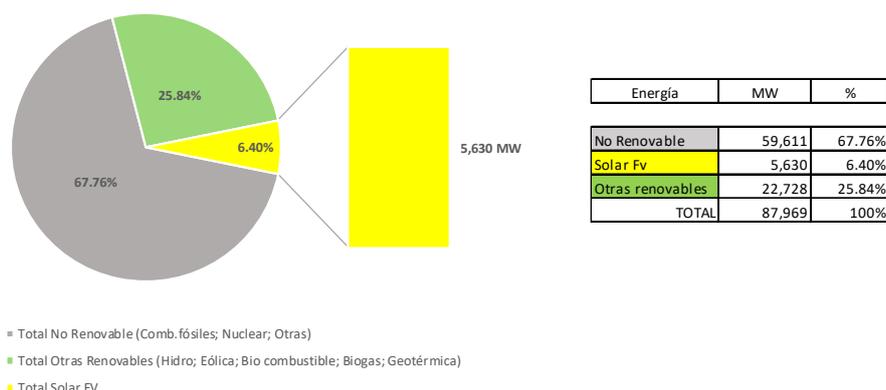
Fuente: Elaboración propia con datos de CRE (2020) y CENACE (2020).

Para el año 2020, la industria FV se organiza en dos asociaciones, la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES) que agrupa alrededor de 123 instaladores y operadores de sistemas FV en toda la República, y la Asociación Mexicana de Energía Solar (Asolmex) que aglomera alrededor de 172 operadores, inversionistas, proveedores y desarrolladores de Centrales Solares Fotovoltaicas a Gran Escala y de Generación Distribuida de diferentes nacionalidades y donde se encuentran agrupadas las 69 centrales FV mencionadas.

En lo que a generación solar distribuida se refiere, en el año 2020 operaban 129,893 contratos para techos solares a nivel nacional, que ofrecen una capacidad instalada de 965 MW (SENER, 2020).

En la Figura 3 se muestra la capacidad FV instalada en México en el año 2020 (5,630 MW), que representa solo el 6.4% de la capacidad instalada eléctrica total de ese año (IRENA, 2020).

Figura 3. México: Capacidad FV instalada en el año 2020 (GW/h).



Fuente: Elaboración propia con base en IRENA (2020).

La electricidad FV tiene su origen en la irradiación solar. Por lo que, la reducida participación de la capacidad FV instalada en México contrasta con la irradiación solar con la que cuenta. A este respecto, la irradiación solar anual en algunos territorios de México es de las mayores del mundo. De hecho, estima que el 85% del territorio nacional es óptimo para proyectos solares (Asolmex, 2020). Los índices de irradiación van de los 4.4 kWh/m² por día en la zona centro, a los 6.3 kWh/m² por día en el norte del país. En la Tabla 1 se muestra el potencial global FV en México, al detallar la irradiación solar mensual en las regiones de México.

Tabla 1. Irradiación solar en regiones de México por mes (kWh/m²).

Estado	Ciudad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
Sonora	Hermosillo	4.0	4.6	5.4	6.6	8.3	8.5	6.9	6.6	6.7	6.0	4.7	3.9	6.0
Sonora	Guaymas	4.5	5.7	6.5	7.2	7.3	6.8	5.9	5.8	6.3	5.9	5.0	5.6	5.9
Chihuahua	Chihuahua	4.1	4.9	6.0	7.4	8.2	8.1	6.8	6.2	5.7	5.2	4.6	3.8	5.9
SLP	SLP	4.3	5.3	5.8	6.4	6.3	6.1	6.4	6.0	5.5	4.7	4.2	3.7	5.4
Zacatecas	Zacatecas	4.9	5.7	6.6	7.5	7.8	6.2	6.2	5.9	5.4	4.8	4.8	4.1	5.8
Guanajuato	Guanajuato	4.4	5.1	6.1	6.3	6.6	6.0	6.0	5.9	5.8	5.2	4.8	4.6	5.6
Aguascalientes	Aguascalientes	4.5	5.2	5.9	6.6	7.2	6.3	6.1	5.9	5.7	5.1	4.8	4.0	5.6
Oaxaca	Salina Cruz	5.4	6.3	6.6	6.4	6.1	5.0	5.6	5.9	5.2	5.9	5.7	5.2	5.8
Oaxaca	Oaxaca	4.9	5.7	5.8	5.5	6.0	5.4	5.9	5.6	5.0	4.9	4.8	4.4	5.3
Jalisco	Colotlán	4.6	5.7	6.5	7.5	8.2	6.6	5.8	5.6	5.8	5.3	4.9	4.1	5.9
Jalisco	Guadalajara	4.6	5.5	6.3	7.4	7.7	5.9	5.3	5.3	5.2	4.9	4.8	4.0	5.6
Durango	Durango	4.4	5.4	6.5	7.0	7.5	6.8	6.0	5.6	5.7	5.1	4.8	3.9	5.7
Baja California	La Paz	4.4	5.5	6.0	6.6	6.5	6.6	6.3	6.2	5.9	5.8	4.9	4.2	5.7
Baja California	San Javier	4.2	4.6	5.3	6.2	6.5	7.1	6.4	6.3	6.4	5.1	4.7	3.7	5.5
Baja California	Mexicali	4.1	4.4	5.0	5.6	6.6	7.3	7.0	6.1	6.1	5.5	4.5	3.9	5.5
Querétaro	Querétaro	5.0	5.7	6.4	6.8	6.9	6.4	6.4	6.4	6.3	5.4	5.0	4.4	5.9
Puebla	Puebla	4.9	5.5	6.2	6.4	6.1	5.7	5.8	5.8	5.2	5.0	4.7	4.4	5.5
Hidalgo	Pachuca	4.6	5.1	5.6	6.8	6.0	5.7	5.9	5.8	5.3	4.9	4.6	4.2	5.4

Fuente: Elaboración propia en base al Sistema de Información Geográfica para las Energías Renovables en México (SIGER) del Instituto de Investigaciones Eléctricas.

Para poner en perspectiva las cifras de México (participación de 6.4% de capacidad FV instalada; irradiación solar de entre 4.4 y 6.3 kWh/m² por día), Alemania recibe una irradiación solar de menos de 3.15 kWh/m² al día. Sin embargo, en el año 2018, su capacidad FV instalada correspondió al 21.95% de la capacidad instalada total (IRENA, 2020).

Partiendo de lo anterior, es evidente que hay una reducida participación de la capacidad FV instalada en la mezcla energética del país, lo que contrasta con la favorecida irradiación solar de México. Por lo que es necesario implementar políticas que impulsen la participación de la capacidad FV instalada en México.

3. Metodología: Benchmarking de la industria FV

En la presente investigación se emplea la metodología Benchmarking, mediante la cual se contrasta la industria FV de México con la de los países con mayor capacidad FV instalada.

El Benchmarking se define como el proceso sistemático de búsqueda de 'mejores prácticas o políticas' [benchmark], las cuales conducen a la mejora continua [de un proceso] (Wong y Wong, 2008). Por lo que el benchmarking consiste en analizar y adaptar los benchmarks para su uso (Del Giorgio, 2011).

Para la presente investigación, se realiza un benchmarking estratégico, el cual consiste en la evaluación comparativa de un mismo mercado o sector, para trazar un plan a largo plazo para el desarrollo de una organización o industria determinada (Milosevic *et al.*, 2013).

El benchmarking estratégico consta de cuatro etapas, las cuales se detallan a continuación (Elmuti y Kathawala, 1997):

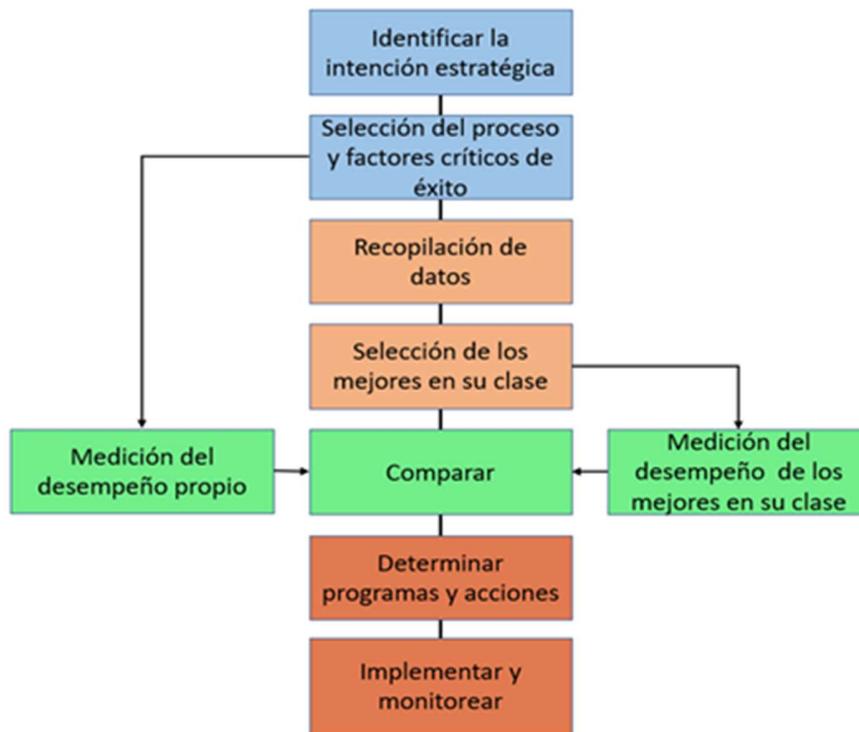
- a. Planificar el ejercicio: consta de, en primer término, identificar la intención estratégica del negocio (o proceso a comparar). Ésta constituye el objetivo o

razón que motiva la realización de la evaluación comparativa de los factores de una industria o proceso que se pretende mejorar (Matters y Evans, 1996). A continuación, se debe elegir la selección del proceso real que se va a comparar. Por último, se determinan las mejores prácticas para comparar.

- b. Recopilar los datos: se recopila información sobre aquellos quienes poseen mejores prácticas y sus actuaciones. Antes de que se identifique las mejores prácticas de los otros, primero se debe identificar sus propios procesos, productos o servicios.
- c. Analizar datos en busca de brechas: implica determinar cómo se relaciona uno con el mercado o industria de referencia. Permite identificar las brechas de rendimiento y sus posibles causas.
- d. Tomar medidas o acciones: implica determinar lo que se debe hacer para que coincida con las mejores prácticas para el proceso, negocio, mercado o industria. No sólo se debe determinar los cambios, sino que también deben aplicarse realmente.

De manera particular, en la Figura 4 se ilustran las etapas del análisis Benchmarking estratégico aplicado en el presente artículo.

Figura 4. Etapas del Benchmarking.



Fuente: Elaboración propia adaptado de Elmuti y Kathawala (1997).

Para la presente investigación se identificó como intención estratégica del negocio a la capacidad FV instalada, la cual está relacionada con doce mejores prácticas, las cuales se corresponden con las políticas descritas en la Tabla 2.

Tabla 2. Políticas que impulsan el desarrollo de la capacidad FV instalada.

i. Subvención de capital, concesión o rebaja	v. Pago por producción de energía	ix. Cuotas o Renewable Portfolio Estándar
ii. Créditos fiscales a la inversión o producción	vi. Subastas o Licitación Pública	x. Bonos o certificados verdes
iii. Inversión pública	vii. Feed in Tariff & Feed in Premiun	xi. Desarrollo de Capital Intelectual, Técnico y Profesional
iv. Reducción de impuestos	viii. Net Metering	xii. Investigación & Desarrollo

Elaboración propia.

Para llevar a cabo la evaluación del desempeño de la industria FV a nivel internacional, se seleccionó a los países que, al año 2020, poseyeran la mayor

capacidad FV instalada en el mundo: Alemania, España, Reino Unido, Francia, Italia, los Estados Unidos de América, China y Japón. En la Tabla 3 se presenta la capacidad instalada, así como la irradiación solar de dichos países y de México.

Tabla 3. Países con mayor capacidad FV instalada (2020).

Países	Capacidad FV instalada acumulada (GW) 2020 (GW)	Niveles promedio anuales de irradiación solar (KWh/m ²)
China	253.85	1,750
Estados Unidos	73.81	2,044
Japón	6.00	1,679
Alemania	53.78	1,157
Italia	21.59	1,664
Reino Unido	13.56	1,094
España	11.79	1,819
Francia	11.72	1,437
México	5.63	2,500

Fuente: Elaboración propia con base en AIE (2020).

La revisión de datos abarca el periodo que va del año 2005 al año 2020 en los casos que existe información actualizada. La selección del inicio del periodo se debe a que, a partir del año 2005: 1) la tasa de crecimiento anual de la capacidad FV instalada global incrementó hasta alcanzar niveles superiores al 70% anual y supera los 5 GW (OCDE/AIE, 2010); 2) la industria FV deja de ser casi exclusiva de Alemania, España, Japón y los Estados Unidos, y países como Italia, Francia y China, comienzan a aumentar su industria FV, integrándose al grupo de países con mayor capacidad FV instalada (EPIA, 2011); 3) gran parte de los sistemas fotovoltaicos dejan de estar fuera de la red (off-grid) y se incorporan a la red eléctrica de cada país, permitiendo que las estadísticas internacionales reflejen datos fidedignos (EPIA, 2011).

4. Análisis Benchmarking de la industria FV en países seleccionados

A continuación, se lleva a cabo el análisis Benchmarking. Particularmente, se analiza el papel de las mejores prácticas (descritas en la Tabla 2) en la capacidad FV instalada de los países con mayor capacidad FV instalada.

- i. La **subvención de capital** se lleva a cabo en China, Estados Unidos, Japón, Alemania y Francia (Grau, Huo, y Neuhoff, 2011). En México no se lleva a cabo (Torres, 2020; Treviño, 2020; Creuheras, 2020). Países como España e Italia han preferido otro tipo de prácticas que no comprometen en este sentido su economía nacional. (Van *et al.*, 2003; Cansino *et al.*, 2010).
- ii. Respecto del uso de **créditos fiscales para la inversión**, todos los países estudiados, salvo México (Torres, 2020; García, 2020), utilizan esta práctica para facilitar la inversión en proyectos FV. Lo anterior sucede fundamentalmente cuando estos proyectos se destinan a la inversión en mayor capacidad instalada o directamente en la generación eléctrica, ya sea para auto abasto, o por medio de proyectos FV rurales, independientemente de que estén integrados a la red eléctrica o fuera de ella (Burns y Kang, 2012; Yu *et al.*, 2014; Abdmouleh *et al.*, 2015).
- iii. Países como Estados Unidos, Francia, Alemania, Reino Unido, Japón y China han optado por **invertir con recursos fiscales**, ya sea federales o locales, en proyectos que incrementen la capacidad instalada del país. España e Italia han sido la excepción, al igual que México (Hernández, 2018; Torres, 2020; Ortiz y Ramírez, 2020). En estos tres casos, los inversionistas privados han desarrollado la industria FV (Streimikien, 2007; Shuai *et al.*, 2019; Wu *et al.*, 2018; Avril *et al.*, 2012; Abdmouleh *et al.*, 2015).
- iv. Los países que optan por esquemas fiscales para apoyar la inversión privada en proyectos fotovoltaicos destacan, entre sus políticas fiscales, la **reducción de impuestos** cuando el inversionista apuesta por un proyecto

- FV. Tal es el caso de Italia, España, Francia, Japón¹¹ y los Estados Unidos (Abdmouleh et al., 2015; Ballocchi, 2020).
- v. Los países en los que se realiza **el pago a los particulares por la producción de energía** son Estados Unidos, Alemania, Italia, España y Francia (IEA PVPS, 2019; Kimura y Suzuki, 2006).
 - vi. En el mercado español, los esquemas de **licitaciones o subastas de energía** han sido una práctica muy utilizada por su éxito (El País, 2020), y sucede en forma semejante en Alemania, Francia y los Estados Unidos (ISE, 2019). La experiencia mexicana con tres subastas (en los años 2015, 2016 y 2017) fue exitosa, particularmente para los proyectos FV, sin embargo, se detuvo esta práctica en su cuarta edición en el año 2019 debido al cambio de administración del gobierno federal sin exponer justificación alguna (Ramírez, 2019).
 - vii. En el conjunto de las prácticas tarifarias, **Feed in Tariff (FIT)** ha sido la más aceptada lo largo del desarrollo de la capacidad FV instalada en todos los países estudiados (Grau, Huo, y Neuhoff, 2011). Adicionalmente destaca que, el esquema FIT, ha ido evolucionando con el tiempo en estos mercados donde ha ido adoptando variantes, como **Feed-in Premium**, que contribuyen al mejoramiento operativo de los mercados energéticos. De esta forma, el análisis realizado muestra que únicamente en México el FIT no ha sido implementado, aunque la regulación mexicana ha establecido una metodología propia para fijar el precio de la electricidad que se paga a los productores de energía renovable, en nuestro caso FV, por cada unidad de energía producida e inyectada en la red eléctrica (Hernández, 2018; García, 2020; Creuheras, 2020).
 - viii. El otro esquema de regulación tarifario preferido en los mercados eléctricos que buscan promover la FV es **Net metering**. Estados Unidos, junto con los

¹¹ Al momento de realizar la presente investigación, Japón si empleaba la reducción de impuestos. No obstante, recientemente dejó de hacerlo (ver IEA PVPS-NEDO, 2020). Esta política se empleó desde 1994 (Kimura y Suzuki, 2006) por lo que, en efecto, contribuyó al impulso de la capacidad FV instalada en Japón. Por lo que, en el presente análisis se considera que en efecto Japón si utiliza la reducción de impuestos.

Alemania, Italia, Reino Unido y Francia acreditan a los propietarios de proyectos fotovoltaicos, básicamente hogares con techos solares, la energía sobrante que devuelven a la red eléctrica (ISE, 2019). En el caso mexicano, el esquema de Net metering se contempla en la normativa federal, pero el despliegue de la energía FV ha sido lento (García, 2020; Creuheras, 2020), a diferencia de los otros países estudiados incluyendo China, donde Net Metering asociado a la generación distribuida se ha convertido en política central del gobierno. (Xie *et al.*, 2012; Jia, X *et al.*, 2020)¹².

- ix. Las **metas de energía renovables (cuotas)** se han empleado en los Estados Unidos, Alemania, Italia y el Reino Unido (Abdmouleh *et al.*, 2015). En México no existen “cuotas” específicas correspondientes a la generación de electricidad FV. La generación proveniente de los proyectos FV, se acumula a las “cuotas” de energía limpia comprometidas por el Estado mexicano (Gómez y Alarcón, 2020; García, 2020; Castelán, 2020). China, por su parte, aun cuando ha ratificado el Acuerdo de Paris y sus metas, no ha precisado de utilizar una práctica como las cuotas o portafolios de energía renovable al sujetarse su mercado eléctrico a la planeación energética estatal (Xie *et al.*, 2012).
- x. Entre los países que han patrocinado la implementación de **bonos o certificados verdes** están los Estados Unidos, Alemania, Francia, Italia y el Reino Unido (Abdmouleh *et al.*, 2015; Cuny, 2019). En tanto que, en México, la aparición y el comercio de los Certificados de Energía Limpia (CEL) ha sido la práctica que se caracteriza como Bono verde. No obstante, para que en México esta práctica pueda categorizarse al mismo nivel que en los otros países, requiere el fortalecimiento de los mercados financieros asociados al diseño del mercado eléctrico nacional (Hernández, 2018). La excepción más destacada sigue siendo China, cuyo diseño de mercado verticalmente

¹² Al momento de realizar esta investigación, China empleaba la medición neta. No obstante, reciente mente dejó de hacerlo (ver (IEA PVPS; CHINA ECOPV ALLIANCE, 2020). Esta política se empleó desde 2010 (Xie, Zhang, Hao, Liu, & Zou, 2012) por lo que, en efecto, contribuyó al impulso de la capacidad FV instalada en China. Dado lo anterior, para el presente análisis se considera que en efecto China sí la emplea.

integrado y estatizado, no requiere el uso de este tipo de prácticas (Xie et al., 2012).

- xi. Es una constante entre los países estudiados que se promueva, mediante diferentes mecanismos, el **desarrollo de capital intelectual, técnico y profesional**. En este sentido, el gobierno de los ESTADOS UNIDOS estableció *El Plan Estratégico de Capital Humano 2016-2020* (US Department of Energy, 2016). En Europa, por su parte, destacan iniciativas como la italiana y sus Institutos para la Transición Energética, o la española que establece un certificado de competencia nacional para la rama profesional en energía en el área de energías renovables (García-Álvarez et al, 2018). Por su parte, China encabeza el desarrollo de su capital intelectual con la Universidad de Energía Eléctrica del Norte de China, Mientras tanto, en Japón, la Agencia Japonesa de Ciencia y Tecnología está promoviendo la capacitación fundamental para las energías renovables, incluida la FV (Kimura & Suzuki, 2006).

En México los esfuerzos para formar y elevar la calidad de profesionistas y técnicos del sector FV los encabeza la Secretaría de Energía. Específicamente, en materia FV, sólo se ha desarrollado la certificación del estándar de competencia ECO586: *Instalación de sistemas fotovoltaicos en residencia, comercio e industria* (SENER, 2020).

Para el 2019, las alternativas que México brindaba para la formación de capital humano especializado requerido por la industria FV, se integraban por 7 ingenierías, 9 maestrías y 6 doctorados. No obstante, dichos programas académicos no son parte de un plan orientado hacia el desarrollo de la capacidad FV instalada. Además, algunos programas solo tocan a la electricidad FV de manera tangencial. El detalle por programa se puede consultar en el apéndice 2.

- xii. En lo que a la **investigación y desarrollo (I&D)** se refiere, cada país ha invertido en diferentes áreas de la industria FV. En los Estados Unidos, la Oficina de Tecnologías de Energía Solar es un programa del gobierno que realiza I&D en sistemas y tecnologías de energía solar (Ruegg y Thomas,

2011). Alemania en cambio, su Centro de Evaluación de Tecnología Fotovoltaica se constituyó como parte del Instituto Fraunhofer, de participación público-privada, para sistemas de energía solar (Lauber y Mez, 2004). En España, aproximadamente 30 centros (universidades, centros privados y centros públicos) que se dedican a la actividad de I+D en el campo de la energía fotovoltaica (AIE, 2016). Por su parte Francia crea en el año 2005 la Agencia Nacional de Investigación y la empresa estatal OSEO para promover las alianzas público-privadas, lo que ayudaría a conectar la I&D de FV con la industria (AIE, 2016).

La Gran Bretaña en cambio, anticipa áreas para la reducción de costos del sistema y nuevas tecnologías como es el grupo de trabajo sobre innovación (presidido por la Universidad de Loughborough), que trabaja con el Consejo de Investigación en Ingeniería y Ciencias Físicas (DECC, 2013).

Japón, en el campo de la I&D, promovió un enfoque equilibrado entre la industria y la difusión de la instalación FV (Kimura y Suzuki, 2006).

Por su parte China, adoptó una estrategia diferente de la industria en otras regiones. Las políticas industriales de China fueron orientadas a la exportación. Primero se centraron en tecnologías fáciles de seguir, el establecimiento de líneas de producción de fabricación con mano de obra intensiva (módulos y células) debido a lo accesible de la tecnología y los precios bajos de la energía. Estas políticas finalmente motivaron el que China sea el mayor productor de módulos fotovoltaicos en el mundo desde el año 2007 (AIE, 2016).

5. Políticas que impulsarán la participación de la capacidad fotovoltaica instalada en México

Los resultados del análisis Benchmarking se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Factores de impulso a la energía fotovoltaica (FV) por países

	Capacidad fotovoltaica instalada al 2020 (GW)	Niveles promedio anuales de irradiación solar (KWh/m2)	i. Subvención de capital, concesión o rebaja	ii. Créditos fiscales a la inversión o producción	iii. Inversión pública	iv. Reducción de impuestos	v. Pago por producción de energía	vi. Subastas o Licitación Pública	vii. Feed in Tariff (FIT) & Feed in Premium (FIP)	viii. Net Metering	ix. Cuotas o Renewable Portfolio Standar (RPS)	x. Bonos o certificados verdes	xi. Desarrollo de Capital Intelectual, Técnico y Profesional	xii. I & D
México	5.63	2,500												
China	253.85	1,750	✓	✓	✓			✓					✓	✓
Estados Unidos	73.81	2,044	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Japón	67.00	1,679	✓	✓	✓	✓		✓					✓	✓
Alemania	53.78	1,157	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Italia	21.59	1,664		✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Reino Unido	13.56	1,094		✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
España	11.79	1,819		✓		✓	✓	✓					✓	✓
Francia	11.72	1,437	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓

* En estos casos, los esquemas de financiamientos, normativos o políticas fiscales pueden ser complementarios por lo que no siempre o en todos los años hay presencia de todos y cada uno de ellos.

✓ Cuenta con esta mejor práctica

Práctica poco desarrollada

Elaboración propia con base en los datos de IRENA y el Consejo Mundial de Energía

□ No cuenta con esta mejor práctica

Partiendo del análisis benchmarking, se destaca que:

- a) En México solo emplea, de manera insipiente, seis de las 12 mejores prácticas;
- b) Los Estados Unidos y Alemania son los países que emplea las 12 mejores prácticas. Sin embargo, no son los países con mayor capacidad FV instalada;
- c) China es, por mucho, el país que cuenta con la mayor capacidad FV instalada, pese a que solo emplea 6 de las 12 mejores prácticas.

Sorprende la relación que existe entre la capacidad FV instalada, tanto de los Estados Unidos y Alemania, como de China, con las mejores prácticas que emplean. En principio podría sugerirse que los países que atendieran las 12 mejores prácticas poseerían las mayores capacidades FV instaladas, hecho que no es así.

Lo anterior revela la existencia de lo que hemos llamado la *intensidad conjunta de las mejores prácticas*. Dicha *intensidad* se refiere a la interrelación que existe entre las mejores prácticas empleadas por un país. Si bien, es difícil medir la *intensidad*, el análisis benchmarking sugiere que la *intensidad conjunta de las mejores prácticas* que emplea China es mayor a la de los Estados Unidos y Alemania.

En China, por ejemplo, destacan tanto el impulso de los programas de incentivos en montajes en azotea conectados a la red, como la introducción de mecanismos competitivos para la adquisición de grandes proyectos FV, basados en créditos fiscales a las empresas. Por otra parte, las políticas industriales de China, que han sido orientadas a la exportación de tecnología FV, impulsan el desarrollo de capital intelectual, técnico y profesional, así como la investigación y el desarrollo. Estos hechos contribuyeron a que China se convirtiera en el mayor productor de módulos fotovoltaicos en el mundo desde 2007. Así, en el año 2016, China se mantuvo como el país líder en producción de FV en el mundo, cubriendo toda la cadena productiva FV (AIE, 2016). Por otro lado, la Administración Nacional de Energía de China puso en marcha proyectos de investigación a diferentes escalas. Como resultado, el nivel de investigación de laboratorio de China de celdas solares de silicio cristalino está al mismo tiempo en posiciones de "líder" y "seguidor" a nivel global. Finalmente, China también ha impulsado el uso de los presupuestos públicos para la

estimulación del mercado, así como el desarrollo de programas de demostración/pruebas de campo.

Por otro lado, Japón también constituye un ejemplo de la *intensidad conjunta de las mejores prácticas*, ya que solo emplea siete de las doce mejores prácticas. No obstante, la capacidad FV instalada de Japón (67 GW) es mayor a la capacidad FV instalada de Alemania (53.78 GW).

Adicionalmente, en los países con mayor capacidad FV instalada, se ha dado un crecimiento de la capacidad FV instalada al incluirla en las Redes Eléctricas Inteligentes (REI) (Lee *et al.*, 2012). En Reino Unido, por ejemplo, la capacidad FV instalada se duplicó de los años 2010 al 2015 con la implementación de la REI (Jenkins *et al.*, 2015). En los Estados Unidos, debido a las bondades técnicas que ofrece la tecnología FV, su capacidad instalada se incrementó al incluirse en las REI (Steffel *et al.*, 2012). Italia, España, Francia, Alemania, China, y Japón, también experimentaron del año 2007 al año 2020 el incremento de su capacidad FV instalada al introducir la FV en sus respectivas REI (Lee *et al.*, 2012; Mordor Intelligence LLP, 2020).

Partiendo de lo anterior, es evidente que la **capacidad FV instalada** de un país está directamente relacionada con: a) la *intensidad conjunta de las mejores prácticas*, y; b) con el hecho de incluir la capacidad FV en REI. Es decir, en la medida en que las mejores prácticas se atienden de manera **integral y con una planeación a largo plazo que apunte hacia las REI**, se propiciará *intensidad conjunta de las mejores prácticas*, lo que derivará en un incremento de la capacidad FV instalada.

Por lo que, el presente análisis sugiere que, para que se impulse la capacidad FV instalada en México, se debe primeramente realizar **una planeación integral a largo plazo de la industria FV, la cual debe tener como eje rector a las REI** (y por consiguiente a la Generación Distribuida)¹³ donde se privilegie a la FV.

¹³ Para lograr la evolución de la red tradicional a una REI se requiere el aumento de la Generación Distribuida (Wissner, 2008).

Adicionalmente, el presente análisis permite identificar las mejores prácticas que deben constituir el punto de partida de dicho **plan integral a largo plazo de la industria FV**. Para ello, se consideran las mejores prácticas en las que coinciden los cuatro países con mayor capacidad FV instalada (China, Estados Unidos, Japón y Alemania) y que hoy no se consideran en México. Éstas son:

- i. subvención de capital, concesión o rebaja,
- ii. crédito fiscal a la inversión o producción,
- iii. Inversión pública
- xii. el impulso a la investigación y el desarrollo de tecnología FV.

En consecuencia, el análisis sugiere que el impulso a la capacidad FV instalada en México se dará a partir de una **planeación integral a largo plazo de la industria FV mexicana** que: i) tenga como eje rector a las REI; ii) aborde de manera primordial las cuatro mejores prácticas descritas, y; iii) fortalezca las mejores prácticas que hoy se emplean de manera incipiente.

6. Conclusiones

¿Qué políticas se deben implementar en México para impulsar la participación de la capacidad FV instalada? El presente análisis sugiere que dichas políticas son

- i. subvención de capital, concesión o rebaja,
- ii. crédito fiscal a la inversión o producción,
- iii. Inversión pública
- xii. el impulso a la investigación y el desarrollo de tecnología FV.

Sin embargo, dichas políticas deben ser el punto de partida de una **planeación integral a largo plazo de la industria FV mexicana** que: i) tenga como eje rector a las REI, y; iii) fortalezca las mejores prácticas que hoy se emplean de manera incipiente.

Destaca el hecho de que la capacidad FV instalada de un país no depende directamente del número de políticas empleadas, sino de lo que hemos llamado la *intensidad conjunta de las políticas*. La cual se refiere a la interrelación que existe

entre las políticas de un país. El análisis sugiere que la *intensidad conjunta de las políticas* que emplea China (253.85 GW; 6 políticas) es mayor a la de los Estados Unidos (73.81GW; 12 políticas) y Alemania (53.78GW; 12 políticas). Otro ejemplo de mayor *intensidad conjunta de las políticas* lo constituye Japón (67 GW; 7 políticas) con respecto a Alemania (53.78GW; 12 políticas).

Referencias

- Abdmouleh, Z., Alammari, R., & Gastli, A. (2015). Review of policies encouraging renewable energy integration & best practices. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- AIE. (2016). *the Photovoltaic Power Systems Programme of the International Energy Agency, 2016 Annual Report*. International Energy Agency.
- AIE. (2019). *World Energy Outlook 2019*. (P. Internacional Energy Agency, Ed.) Obtenido de <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019>
- ASOLMEX. (2020). *Monitor de información comercial e índice de precios de Generación Solar Distribuida en México*. Asociación Mexicana de Energía Solar.
- Avril, S., Mansilla, C., Busson, M., & Lemaire, T. (2012). Photovoltaic energy policy: Financial estimation and performance comparison of the public support in five representative countries. *Energy Policy*, 51, 244-258.
- Balcombe, P., Rigby, D., & Azapagic, A. (2014). Investigating the importance of motivations and barriers related to microgeneration uptake in the UK. *Applied Energy*, 403-418.
- Balocchi, A. (04 de 09 de 2020). *Fotovoltaico in Italia: storage, comunità energetiche e superbonus 110%*. Obtenido de [lumi4innovation.it](https://www.lumi4innovation.it/fotovoltaico-in-italia-storage-comunita-energetiche-superbonus-110/): <https://www.lumi4innovation.it/fotovoltaico-in-italia-storage-comunita-energetiche-superbonus-110/>
- Barbosa, L., Nunes, C., Rodrigues, A., & Sadinha, A. (2020). Feed-in tariff contract schemes and regulatory uncertainty. *European journal of operational research*, 287, 331-347.
- Barbose, G., Wiser, R., & Bolinger, M. (2008). Designing PV incentive programs to promote performance: A review of current practice in the US. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 12(4), 960-998.
- Bayer, B. (2018). Experience with auctions for wind power in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81(P2), 2644-2658.
- Becerra-Pérez, L., González-Díaz, R., & Villegas-Gutiérrez, A. (2020). La energía solar fotovoltaica, análisis costo beneficio de los proyectos en México. *RINDERESU*, 5. Obtenido de <http://rinderesu.com/index.php/rinderesu/article/view/104/107>

- Best, R., & Burke, P. (2013). Adoption of solar and wind energy: The roles of. *CCEP Working Paper 1803*. Obtenido de https://openresearch-repository.anu.edu.au/bitstream/1885/142836/3/best_burke_1803.pdf
- Brandstatt, C., Brunekreeft, G., & Jahnke, K. (2011). How to deal with negative power price spikes?—Flexible voluntary curtailment agreements for large-scale integration of wind. *Energy Policy*, 39, 3732-3740.
- Burns, J., & Kang, J.-S. (2012). Comparative economic analysis of supporting policies for residential solar PV in the United States: Solar Renewable Energy Credit (SREC) potential. *Energy policy*, 2012-05, Vol.44, p.217-225, 44, 217-225.
- Cansino, J., Pablo-Romero, M., Román, R., & Yñiguez, R. (2010). Tax incentives to promote green electricity: An overview of EU-27 countries. *Energy policy*, 38(10), 6000-6008.
- Carley, S., Baldwin, E., MacLean, L., & Brass, J. (2017). Global Expansion of Renewable Energy Generation: An Analysis of Policy Instruments. *Environmental and Resource Economics*, 68(2).
- Carstens, D., & Cunha, S. (2019). Challenges and opportunities for the growth of solar photovoltaic energy in Brazil. *Energy Policy*, 125, 396-404.
- Castaneda, M., Zapata, S., & Aristizabal, A. (2018). Assessing the effect of incentive policies on residential pv investments in Colombia. *Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12010/8926>*.
- Castelán, Jaime Tadeo (2020), “Actualización de la legislación del sector energético, en materia de fuentes renovables: Certificados de energías limpias y generación distribuida” en Necochea Porras P., A., (compilador) México hacia una transición energética, Konrad Adenauer Stiftung México.
- CENACE. (2015-2020). *Centro Nacional de Control de Energía*. Obtenido de <https://www.gob.mx/cenace>
- Chimres, N., & Wongwises, S. (2016-05). Critical review of the current status of solar energy in Thailand. *Renewable & sustainable energy reviews*, 2016-05, Vol.58, p.198-207, 58, 198-207.
- Choi, H., & Díaz Anadón, L. (2014). The role of the complementary sector and its relationship with network formation and government policies in emerging sectors: The case of solar photovoltaics between 2001 and 2009. *Technological Forecasting and Social Change*, 82(C), 80-94.
- CRE. (2014-2020). *Comisión Reguladora de Energía*. Obtenido de <https://www.gob.mx/cre>
- Creuheras, Santiago (2020), “Desarrollo de las redes inteligentes en el sector energético mexicano” en Necochea Porras P., A., (compilador) México hacia una transición energética, Konrad Adenauer Stiftung México.

- Cuny, D. (26 de 06 de 2019). La France à nouveau leader mondial des green bonds. *La Tribune*. Obtenido de <https://www.latribune.fr/entreprises-finance/banques-finance/la-france-a-nouveau-leader-mondial-des-green-bonds-821623.html>
- De Elejalde, R. & Ponce, C. (2016) Los desafíos de la intermitencia de las energías renovables no convencionales. *Observatorio Económico*, 2-3.
- De Vos, K. (2015). Negative Wholesale Electricity Prices in the German, French and Belgian Day-Ahead, Intra-Day and Real-Time Markets. *The Electricity Journal*, 36-50.
- DECC. (2013). *UK Solar PV Strategy Roadmap to a Brighter Future*. Department of Energy & Climate Change DECC. Obtenido de https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/249277/UK_Solar_PV_Strategy_Part_1_Roadmap_to_a_Brighter_Future_08.10.pdf
- Del Giorgio, F. (2011). El Benchmarking en el Sector Público: Aportes y propuestas de implementación para la Provincia de. *Tesis de Especialización*. Buenos Aires: Universidad Nacional Tres de Febrero.
- Díez-Mediavilla, M., Alonso-Tristán, C., Rodríguez-Amigo, M., & García-Calderón, T. (2010). Implementation of PV plants in Spain: A case study. *Renewable & sustainable energy review*, 14(4), 1342-1346.
- Dijkgraaf, E., Van Dorp, T., & Maasland, E. (2018). On the effectiveness of feed-in tariffs in the development of solar photovoltaics. *The Energy Journal*, 39(1), 81-99.
- El País. (07 de 11 de 2020). El Gobierno subastará 20.000 megavatios en renovables hasta 2025. *Cinco Días El País*. Obtenido de https://cincodias.elpais.com/cincodias/2020/11/06/companias/1604668957_251861.html
- Elmuti, D., & Kathawala, Y. (1997). An overview of benchmarking process: a tool for continuous improvement and competitive advantage. *Benchmarking for Quality Management & Technology*, 4(4), 229-243. doi:<https://doi.org/10.1108/14635779710195087>
- EPIA. (2011). *Solar Photovoltaic Electricity Empowering the World*. European Photovoltaic Industry Association.
- García-Álvarez, M., Cabeza-García, L., & Soares, I. (2018). Assessment of energy policies to promote photovoltaic generation in the European Union. *Energy*, 151, 864-874.
- García, Guillermo Ignacio (2020), "Tomar el control de nuestra energía: Impacto de la generación distribuida en México" en Necochea Porras P., A., (compilador) México hacia una transición energética, Konrad Adenauer Stiftung México.
- Grau, T., Huo, M., & Neuhoff, K. (2011). Survey of Photovoltaic Industry and Policy in Germany and China. *Energy Policy*, 51. doi:10.2139/ssrn.1869813

- Guidolin, M., & Mortarino, C. (2010). Cross-country diffusion of photovoltaic systems: Modelling choices and forecasts for national adoption patterns. *Technological Forecasting and Social Change*, 77(2), 279-296.
- Hansen, U., Pedersen, M., & Nygaard, I. (2015). Review of solar PV policies, interventions and diffusion in East Africa. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 46.
- Hernández, C. (2018). *Reforma energética-electricidad*. México: Fondo de Cultura Económica.
- IEA PVPS. (2019). *The IEA Photovoltaic Power Systems Programme. Annual Report*.
- IEA PVPS; CHINA ECOPV ALLIANCE;. (2020). *National Survey Report of PV Power Applications in China*. IEA PVPS.
- IEA PVPS; NEDO;. (2020). *National Survey Report of PV Power Applications in Japan*. IEA PVPS.
- IRENA. (2020). *Renewable capacity statistics 2020*. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency (IRENA).
- ISE. (2019). *Recent Facts about Photovoltaics in Germany*. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE. Obtenido de <https://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/studies/recent-facts-about-pv-in-germany.html>
- Jenkins, N., Long, C., & Wu, J. (2015). An Overview of the Smart Grid in Great Britain. *Engineering*, 1(4), 413-421.
- Jia, X., Du, H., Zou, H., & He, G. (2020). Assessing the effectiveness of China's net-metering subsidies for household distributed photovoltaic systems. *Journal of Cleaner Production*.
- Johnstone, N., Haščič, I., & Popp, D. (2010). Renewable Energy Policies and Technological Innovation: Evidence Based on Patent Counts. *Environmental and Resource Economics*, 45(1), 133-155.
- Juárez-Luna, D., & Urdiales, E. (2021). "Generación de electricidad fotovoltaica: ignorada, en la práctica como en la teoría, en México. *MPRA Paper 108954*. University Library of Munich, Germany. Obtenido de https://mpra.ub.uni-muenchen.de/108954/1/MPRA_paper_108954.pdf
- Kimura, O., & Suzuki, T. (17-18 de noviembre de 2006). 30 years of solar energy development in Japan: co-evolution process of technology, policies, and the market. *The 2006 Berlin Conference on the Human Dimensions of Global Environmental Change*:. Berlin.
- Koo, B. (2017). Examining the impacts of Feed-in-Tariff and the Clean Development Mechanism on Korea's renewable energy projects through comparative investment analysis. *Energy Policy* 104:144-154, 104, 144-154.
- Kosonen, K., & Nicodème, G. (2009). *The Role of Fiscal Instruments in Environmental Policy*. CESifo Group Munich CESifo Working Papers Series No. 2719.

- Kumar Sahu, B. (2015). A study on global solar PV energy developments and policies with special focus on the top ten solar PV power producing countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, 621-634. doi:10.1016/j.rser.2014.11.058
- Kwon, T.-h. (2015). Rent and rent-seeking in renewable energy support policies: Feed-in tariff vs. renewable portfolio standard. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 44, 676-681.
- Lauber, V., & Mez, L. (2004). Three Decades of Renewable Electricity Policies in Germany. *Energy & Environment*, 15(4), 599-623. doi:10.1260/0958305042259792
- Lee, Y., Paredes, J., & Lee, S. (2012). *Smart grid and its application in sustainable cities*. IDB Technical Note ; 446. Inter-American Development Bank. Obtenido de <https://publications.iadb.org/publications/english/document/Smart-Grid-and-Its-Application-in-Sustainable-Cities.pdf>
- León-Trigo, L., Reyes-Archundia, E., Gutiérrez-Gnecchi, J., Méndez-Patiño, A., & Chávez-Campos, G. (2019). Smart Grids en México: Situación actual, retos y propuesta de implementación. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 20(2). doi:10.22201/fi.25940732e.2019.20n2.015
- Liu, J.-L., Wang, K., Xiahou, Q.-R., Liu, F.-M., Zou, J., & Kong, Y. (2019). China's long-term low carbon transition pathway under the urbanization process. *Advances in Climate Change Research*, 240-249.
- Malagueta, D., Szklo, A., Soares, B., Soria, R., Aragão, R., Schaeffer, R., & Dutra, R. (2013). Assessing incentive policies for integrating centralized solar power generation in the Brazilian electric power system. *Energy Policy*, 59, 198-212.
- Marinova, D., & Balaguer, A. (2009). Transformation in the photovoltaics industry in Australia, Germany and Japan: Comparison of actors, knowledge, institutions and markets. *Renewable Energy*, 34(2), 461-464.
- Marques, A., Fuinhas, J., & Pereira, D. (2019). The dynamics of the short and long-run effects of public policies supporting renewable energy: A comparative study of installed capacity and electricity generation. *Economic analysis and policy*, 63, 188-206.
- Martínez Prats, G., Silva Hernández, F., Altamirano Santiago, M., & Hernández Salinas, J. (2021). Apuntes de la energía fotovoltaica en México. *3C Tecnología. Glosas De Innovación Aplicadas a la Pyme*, 1, 17-31. Obtenido de <http://ojs.3ciencias.com/index.php/3c-tecnologia/article/view/1164>
- Matters, M., & Evans, A. (1996). *The nuts and bolts of benchmarking*. Benchmarking Link-Up Australia.
- McKenna, E., Pless, J., & Darby, S. (2018). Solar photovoltaic self-consumption in the UK residential sector: New estimates from a smart grid demonstration project. *Energy Policy*, 118, 482-491.
- Michaud, G. (2016). Net Energy Metering and Community Shared Solar Deployment in the U.S.: Policy Perspectives, Barriers, and Opportunities. *A dissertation submitted in partial*

fulfillment of the requirement for the degree of Doctor of Philosophy at Virginia Commonwealth University.

- Milosevic, D., Djuric, M., Filipovic, J., & Ristic, S. (2013). Benchmarking as a Quality Management Tool in Public Administration. *Inzinerine Ekonomika Engineering Economics*, 24(4), 364-372.
- Mir-Artigues, P., Cerdá, E., & Del Rio, P. (2018). Analysing the economic impact of the new renewable electricity support scheme on solar PV plants in Spain. *Energy Policy*, 114, 323-331.
- Mordor Intelligence LLP. (2020). *China Smart Grid Network Market - Growth, Trends, and Forecasts (2020 - 2025)*. Mordor Intelligence LLP. Obtenido de https://www.reportlinker.com/p05989483/China-Smart-Grid-Network-Market-Growth-Trends-and-Forecasts.html?utm_source=GNW
- Mughal, S., Sood, Y., & Jarial, R. (2018). A Review on Solar Photovoltaic Technology and Future Trends. *Conference: International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology*.
- Muñoz, J., Rojas, M., & Barreto-Calle, C. (2018). Incentivo a la generación distribuida en el Ecuador. *Ingenius*.
- Năstase, G., Șerban, A., Năstase, A., & Dragomir, G. (2017). Hydropower development in Romania. A review from its beginnings to the present. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 297-312.
- Nicolli, F., & Vona, F. (2016). Heterogeneous policies, heterogeneous technologies: The case of renewable energy. *Energy Economics*, 56, 190-204.
- OCDE/AIE. (2010 - 2020). *Monthly OECD electricity statistics*. Obtenido de <https://www.iea.org/reports/monthly-oecd-electricity-statistics>
- Olczak, P., Kryzia, D., Matuszewska, D., & Kuta, M. (2021). "My Electricity" Program Effectiveness Supporting the Development of PV Installation in Poland. *Energies (Basel)*, 14, 231.
- Ortiz, María I., & Ramírez, Víctor F., (2020), "Retos del gobierno ante la transición energética: 2018-2024" en Necochea Porras P., A., (compilador) México hacia una transición energética, Konrad Adenauer Stiftung México.
- Park, N., Lee, K., Lee, K., Lee, Y., Lee, K., & Lee, S. (2013). In-depth analysis on R&D investment and strategy on PV in South Korea. *Energy policy*, 54, 391-396.
- Pearce, P., & Slade, R. (2018). Feed-in tariffs for solar microgeneration: Policy evaluation and capacity projections using a realistic agent-based model. *Energy Policy*, 116, 95-111.
- Polzin, F., Egli, F., Steffen, B., & Schmidt, T. (2019). How do policies mobilize private finance for renewable energy?-A systematic review with an investor perspective. *Applied Energy*, 236, 1249-1268.

- Raja, P., Laurence, D., & Vasanthi, M. (2006). Adoption of photovoltaic power supply systems: A study of key determinants in India. *Renewable Energy*, 31(14), 2272-2283. doi:10.1016/j.renene.2005.11.001
- Ramirez, V. F. (6 de Junio de 2019). *Subastas eléctricas en México, evaluación y qué hacer sin ellas*. Obtenido de Nexos: <https://www.nexos.com.mx/?p=42822>
- REN 21. (2018). *Renewables. Global Status Report 2017 update*. REN 21.
- Rubio-Aliaga, A., Molina-Garcia, Á., García-Cascales, M., & Sánchez-Lozano, J. (2019). Net-Metering and Self-Consumption Analysis for Direct PV Groundwater Pumping in Agriculture: A Spanish Case Study. *Applied Sciences*.
- Ruegg, R., & Thomas, P. (2011). *Linkages of DOE's Solar Photovoltaic R&D to Commercial Renewable Power from Solar Energy*. USA: United States Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy.
- Sampaio, P. G., & González, M. O. (2017). Photovoltaic solar energy: Conceptual framework. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74, 590-601. doi:10.1016/j.rser.2017.02.081
- Sarzynski, A., Larrieu, J., & Shrimali, G. (2012). The impact of state financial incentives on market deployment of solar technology,. *Energy Policy*, 46, 550-557.
- Schallenberg-Rodriguez, J. (2017). Renewable electricity support systems: Are feed-in systems taking the lead? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1422-1439.
- SEMARNAT;. (2020). *Contribución Determinada a nivel Nacional: México. Versión actualizada 2020*. Gobierno de México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Shuai, J., Cheng, X., Ding, L., & Yang, J. (2019). How should government and users share the investment costs and benefits of a solar PV power generation project in China? *Renewable & sustainable energy reviews*, 104, 86-94.
- Şirin, S., & Sevindik, I. (2021). An analysis of Turkey's solar PV auction scheme: What can Turkey learn from Brazil and South Africa? *Energy Policy*, 148.
- Steffel, S., Caroselli, P., Dinkel, A., Liu, J., & Sackey, R. (2012). Integrating Solar Generation on the Electric Distribution Grid. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 3(2), 878-886.
- Streimikien_e, D. (2007). Sustainability Assessment of Policies and Technologies. *Streimikien_e, D., 2007. Sustainability Assessment of Policies and Technologies. Thesub-regional seminar "Integration of SD principals and Green Growth policytools in the SPECA countries", Astana*.
- Strunz, S., Gawel, E., & Lehmann, P. (2016). The political economy of renewable energy policies in Germany and the EU. *Utilities Policy*, 42, 33-41.
- Sudhakar, R., & Painuly, J. (2004). Diffusion of renewable energy technologies¿barriers and stakeholders¿ perspectives. *Renewable energy*, 9, 1431-1447.

- Sun, P., & Nie, P.-y. (2015). A comparative study of feed-in tariff and renewable portfolio standard policy in renewable energy industry. *Renewable Energy*, 74, 255–262.
- The World Bank. (2017). *Global Solar Atlas*. Obtenido de World Bank Group: <https://globalsolaratlas.info/map>
- Torres, Atzayaelh (2020), “Barreras de la transición energética” en Necochea Porras P., A., (compilador) México hacia una transición energética, Konrad Adenauer Stiftung México.
- Treviño, María José (2020), “Revolucionando la forma en que las empresas en México compran energía” en Necochea Porras P., A., (compilador) México hacia una transición energética, Konrad Adenauer Stiftung México.
- Tveten, Å., Bolkesjø, T., Martinsen, T., & Hvarnes, H. (2013). Solar feed-in tariffs and the merit order effect: A study of the German electricity market. *Energy Policy*, 61, 761-770.
- U.S. Department of Energy. (2008). *About the Solar America Initiative*. U.S. Department of Energy.
- Urdiales, E. (2014). Energía solar: su aprovechamiento mediante sistemas fotovoltaicos. En A. Román Zozaya, R. Montes Mendoza, & A. (. Morfín Maciel, *Políticas públicas y gestión estratégica en México: retos y oportunidades*. Universidad Anáhuac México Norte, Facultad de Economía y Negocios. Obtenido de <http://pegaso.anahuac.mx/accesoabierto/publicaciones.php?Accion=Informacion&Tab=Escuela&Area=&Tema=&Subtema=&Year=&Autor=&Tipo=&Universidad=1&Escuela=2&Centro=2&Pub=5>
- Van, A., Beurskens, D. L., Boots, M., Kaal, M., De, T., Van, L., & Uytterlinde, M. (2003). *Renewable Energy Policies and Market Developments (REMAC Project)*.
- Vargas-Hernández, J., & Espinosa, E. (2016). Solar Panel and Renewable Energy in México Development and Outlook for Photovoltaic. *International Journal Of Environment And Sustainability*, 5(2). doi:10.24102/ijes.v5i2.677
- Varghese, S., & Sioshansi, R. (2020). The price is right? How pricing and incentive mechanisms in California incentivize building distributed hybrid solar and energy-storage systems. *Energy Policy*, 138.
- Wang, T., Gong, Y., & Jiang, C. (2014). A review on promoting share of renewable energy by green-trading mechanisms in power system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 923-929.
- Watts, D., Valdés, M., Jara, D., & Watson, A. (2015). Potential residential PV development in Chile: The effect of Net Metering and Net Billing schemes for grid-connected PV systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 1037-1051.
- Wissner, M. (2008). The Smart Grid - A saucerful of secrets? *Applied Energy*, 88(7), 2509-2518.
- Wong, W., & Wong, K. (2008). A review on benchmarking of supply chain performance measures. *Benchmarking: An International Journal*, 15(1), 25-51. doi:<https://doi.org/10.1108/14635770810854335>

- Wu, Y., Zhou, J., Hu, Y., & Li, L. (2018). A TODIM-based investment decision framework for commercial distributed PV projects under the Energy Performance Contracting (EPC) business model: A case in East-Central China. *Energies (Basel)*, 11(5), 1210.
- Xie, H., Zhang, C., Hao, B., Liu, S., & Zou, K. (2012). Review of solar obligations in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1). doi:10.1016/j.rser.2011.07.140
- Xin-gang, Z., Pei-ling, L., & Ying, Z. (2020). Which policy can promote renewable energy to achieve grid parity? Feed-in tariff vs. renewable portfolio standards. *Renewable Energy*, 162, 322-333.
- Yadav, S. (2019). Energy, economic and environmental performance of a solar rooftop photovoltaic system in India. *International Journal of Sustainable Energy*.
- Yang, C., & Ge, Z. (2018). Dynamic feed-in tariff pricing model of distributed photovoltaic generation in China. *Energy Procedia*, 152, 27-32.
- Yu, H., Popiolek, N., & Geoffron, P. (2014). Solar photovoltaic energy policy and globalization: A multiperspective approach with case studies of Germany, Japan, and China. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*. 24., 24.
- Yuan, J., Sun, S., Zhang, W., & Xiong, M. (2014). The economy of distributed PV in China. *Energy, Elsevier, vol. 78(C), pages 939-949., 78(C)*, 939-949.
- Zhai, P., & Williams, E. (2012). Zhai, Pei and Williams, Eric D., (2012), Analyzing consumer acceptance of photovoltaics (PV) using fuzzy logic model. *Renewable Energy*, 41(C), 350-357.
- Zhang, H., Van Gerven, T., Baeyens, J., & Degreè, J. (2014). Photovoltaics: Reviewing the European Feed-in-Tariffs and Changing PV Efficiencies and Costs. *The Scientific World Journal*.
- Zhang, Y., Song, J., & Hamori, S. (2011). Impact of subsidy policies on diffusion of photovoltaic power generation. *Energy Policy*, 39(4), 1958-1964.

Apéndice 1

Centrales solares FV a gran escala en México (2020).

Estado/ Localidad/ Nombre de la Central	Capacidad de Generación (MW)	# de Subasta
Aguascalientes	620	
Aguascalientes	520	
Aguascalientes Potencia 1 Blackrock INFR	63	1
Aguascalientes Sur 1 Opde	30	2

Autren IUSA	1	
Solem 1 Alten/Cubico Sustainable Investment	150	2
Solem 2 Alten/Cubico Sustainable Investment	150	2
Trompezón Engie	126	2
Tepezalá	100	
Tepezalá lenova	100	2
Baja California	45	
Mexicali	3	
Cerro prieto CFE	3	
Tecate	41	
Romerosa Solar lenova	41	2
Tijuana	1	
Plantronics 3Tek Solar	1	
Baja California Sur	56	
La Paz	55	
Aura Solar 1 Gauss	30	
Aura Solar III Gauss	25	
Mulegé	1	
Santa Rosalía CFE	1	
Chihuahua	594	
Ahumada	290	
Los Santos Solar 1 Buenavista Renewables	20	
Villa Ahumada Cinco AMMPER	30	
Villa Ahumada Cuatro AMMPER	30	
Villa Ahumada Engie	150	3
Villa Ahumada Tres AMMPER	30	
Villa Ahumada Uno AMMPER	30	
Camargo	60	
Camargo Balam	30	
El Trece Solar Invex/Bester	30	
Ciudad Juárez	66	
Flextronics Flextronics	2	
Kaixo Bas Corporation/Dominion Energy	64	
Galeana	148	
Santa María Zuma	148	2
Jiménez	30	
Torrencitos Invex/Bester	30	

Coahuila		1,032	
Matamoros		103	
Andalucía II Opde	83		2
Parque Solar Coahuila Macquarie	20		
Torreón		101	
Laguna Solar 174 Power Global	101		2
Viesca		828	
Villanueva Solar Enel	468		1
Villanueva Tres Enel	360		1
Durango		182	
Durango		152	
La Trinidad Eosol	60		
TAI Cinco (a/b) Eosol	30		
TAI Cuatro Eosol	6		
TAI Dos Eosol	6		
TAI Seis Eosol	30		
TAI Tres Eosol	4		
TAI Uno (a7b) Eosol	16		
Tlahuallo		30	
La Laguna Balam	30		
Estado de México		19	
Ixtlahuaca		1	
Iusasol Base IUSA	1		
Pestejé		18	
Iusasol 1 IUSA	18		
Guanajuato		299	
Apaseo el Grande		1	
Solar Apaseo Granlet Chief	1		
Los Rodriguez		70	
Guanajuato Solar Xello	70		2
San Luis de la Paz		225	
Don José Enel	225		1
Silao		3	
Ecopur Ecopur	3		
Hidalgo		129	
Nopala de Villagrán		129	
Planta Solar Guajiro Atlas Renewable Energy	129		1

Jalisco		110	
Ojuelos de Jalisco		100	
Viborillas Jinko Solar	100		1
Tlaquepaque		1	
HP Hewlett Packard Enterprise	1		
Zapopan		1	
Flextronics 2	1		
Zocoalco de Torres		8	
Jalisco Uno Fortius	8		
Querétaro		1	
Felipe Carrillo Puerto		1	
El Tlacote Prosolla	1		
San Luis Potosí		505	
San Luis Potosí		30	
Salsipuedes Solar Balam Fund	30		
Villa de Araujo		170	
Santiago Iberdrola	170		
Villa de Ramos		300	
Potosí Solar FRV	300		2
Villa de Reyes		5	
BMW SLP BMW	5		
Sonora		747	8
Caborca		110	
Pima Solar lenova	110		
Empalme		90	
Bluemex power 1 EDF	90		2
Guaymas		125	
Orejana Zuma	125		2
Hermosillo		100	
Hermosillo Iberdrola	100		
Miguel Alemán		1	
Coppel Uno Solaresacpe	1		
Navojoa		1	
Yoreme Era Exacta	1		
Nogales		1	
Oomapas Oomapas/COCEF	1		
Puerto Libertad		317	

AT Solar V Acciona	180	2
Tuto II Tuto Energy	137	
San Luis Rio Colorado		2
Flextronics San Luis Flextronics	2	
Tlaxcala		220
Hueyotlpan		220
Magdalena II Enel	220	
Yucatán		48
Peto		30
Lázaro Cárdenas Alter Enersun	30	1
Progreso		18
San Ignacio Jinko Solar	18	1
Zacatecas		165
Mazapil		150
Tull Energía CEMEX/Pattern	150	
Villa de Cos		15
Alderabán Reden Solar	15	
Total general		4,772

Apéndice 2

Programas de formación de capital humano relacionado a la industria FV en México

Licenciaturas	Posgrados
1 Ingeniería en energías renovables	1 Maestría en ciencias de la energía
<ul style="list-style-type: none"> UNAM (Temixco) 	<ul style="list-style-type: none"> Universidad de Querétaro
<ul style="list-style-type: none"> Universidad de Sonora 	2 Maestría en sustentabilidad energética
<ul style="list-style-type: none"> Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas 	<ul style="list-style-type: none"> Universidad Autónoma del estado de Morelos
2 Ingeniería en sistemas de energía	3 Maestría en materiales y sistemas energéticos renovables
<ul style="list-style-type: none"> Universidad de Quintana Roo 	<ul style="list-style-type: none"> Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas
<ul style="list-style-type: none"> Universidad Politécnica de Chiapas 	4 Maestría en ciencia en ingeniería eléctrica
<ul style="list-style-type: none"> Universidad de la Ciénega, Michoacán 	<ul style="list-style-type: none"> Universidad de Guadalajara
3 Ingeniería ambiental	<ul style="list-style-type: none"> Instituto Politécnico Nacional
<ul style="list-style-type: none"> Universidad Autónoma Metropolitana 	<ul style="list-style-type: none"> Universidad Metropolitana de San Nicolás de Hidalgo
<ul style="list-style-type: none"> Universidad Veracruzana 	5 Maestría en ingeniería en energía
<ul style="list-style-type: none"> Universidad Autónoma de Tamaulipas 	<ul style="list-style-type: none"> Universidad Nacional Autónoma de México

<ul style="list-style-type: none"> Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Occidente 	6 Maestría en energía renovable
<ul style="list-style-type: none"> Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas 	<ul style="list-style-type: none"> Universidad Politécnica de Chiapas
<ul style="list-style-type: none"> Universidad Autónoma de San Luis Potosí 	<ul style="list-style-type: none"> Universidad Autónoma de Guadalajara
<ul style="list-style-type: none"> Universidad Autónoma de Zacatecas 	7. Maestría en ingeniería ambiental y desarrollo sustentable
4 Ingeniería en energía	<ul style="list-style-type: none"> Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla
<ul style="list-style-type: none"> Universidad Autónoma Metropolitana 	8. Maestría en eficiencia energética y energías renovables
<ul style="list-style-type: none"> Universidad Politécnica de Chiapas 	<ul style="list-style-type: none"> Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec
<ul style="list-style-type: none"> Universidad de la Ciénega, Michoacán 	<ul style="list-style-type: none"> Instituto Tecnológico de Veracruz
<ul style="list-style-type: none"> Universidad Autónoma de Yucatán 	9. Maestría en tecnologías para el desarrollo sustentable
<ul style="list-style-type: none"> Universidad Politécnica de Aguascalientes 	<ul style="list-style-type: none"> Universidad Anáhuac
5 Licenciatura en procesos sustentables y desarrollo regional	1. Doctorado en ciencias de la energía
<ul style="list-style-type: none"> Universidad Iberoamericana, Puebla. 	<ul style="list-style-type: none"> Universidad de Querétaro
6 Licenciatura en sustentabilidad	2. Doctorado en energía y medio ambiente
<ul style="list-style-type: none"> Universidad de Sonora 	<ul style="list-style-type: none"> Universidad Autónoma Metropolitana
7 Ingeniero en Desarrollo Sustentable	3. Doctorado en materiales y sistemas energéticos renovables
<ul style="list-style-type: none"> Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey 	<ul style="list-style-type: none"> Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas
	4 Doctorado en ingeniería en energía
	<ul style="list-style-type: none"> Universidad Nacional Autónoma de México
	5 Doctorado en energía
	<ul style="list-style-type: none"> Instituto Politécnico Nacional
	6 Doctorado en ciencias: energía renovable
	<ul style="list-style-type: none"> Centro de Investigación Científica de Yucatán