
Participación de la electricidad fotovoltaica
en México hacia el año 2050:
un estudio Delphi

*Participation of photovoltaic electricity
in Mexico towards the year 2050:
A Delphi study*

**David
Juárez-Luna**

*Universidad Anáhuac
México, México*

Eduardo Urdiales

*Universidad Anáhuac
México, México*

Recibido: 6 de julio de 2022.
Aprobado: 6 de diciembre de 2022.

Resumen

El presente artículo tiene como objetivo realizar una prospectiva de la participación de la electricidad fotovoltaica (FV) en la canasta energética nacional hacia el año 2050. Para ello, se emplea el método Delphi, el cual se basa en la consulta a expertos en el sector FV. Dentro de los resultados obtenidos destacan: 1) el 89 % de los expertos opina que la participación de la electricidad FV crecerá en la mezcla energética de México; 2) la generación de electricidad FV enriquecerá al sistema eléctrico nacional por diversas ventajas como la implementación de proyectos de sistemas FV complejos y granjas FV interconectadas; 3) el 78 % de los expertos estima que habrá un efecto positivo en el producto interno bruto asociado a la generación de electricidad FV. El presente análisis sugiere que, para materializar las ventajas prospectadas hacia el año 2050 de la generación de electricidad FV, es urgente desarrollar un plan nacional que la impulse.

Palabras clave: generación, electricidad, fotovoltaica, estudio Delphi, prospectiva.

Clasificación JEL: Q20, Q29, Q42.

Abstract

This paper aims to carry out a prospective of the participation of solar photovoltaic (PV) power in the national energy basket by the year 2050. To do this, we used the Delphi method, which is based on consulting experts in the PV sector. Among the results obtained, the following stand out: 1) 89 % of the experts think that the participation of PV electricity will grow in the energy mix of Mexico; 2) PV electricity generation will enrich the national power system for various advantages, such as the implementation of complex PV system projects and interconnected PV farms; 3) 78 % of the experts estimate that the generation of PV electricity will have a positive effect on the gross domestic product. Present analysis suggests that, to materialize the prospective advantages of PV electricity generation towards the year, it is urgent to develop a national plan to promote it.

Key words: generation, power, solar photovoltaic, Delphi study, prospective.

Classification JEL: Q20, Q29, Q42.

1. Introducción

La electricidad fotovoltaica (FV) tiene varias ventajas, entre las que destacan las siguientes: bajo costo de operación y mantenimiento; la fuente de energía es libre; genera energía limpia; es de alta disponibilidad; la generación se puede acercar más al consumidor; no causa impactos ambientales (es respetuosa con el medio ambiente); tiene potencial para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero y es silenciosa (Sampaio y González, 2017).¹ Adicionalmente, la irradiación solar de México, que en promedio es de 2300 KWh/m² al año, es por demás favorecida.² Pese a lo anterior, para el año 2019 la generación de electricidad FV en México fue de 6591 GWh, que correspondió al 1.99 % de la generación total de electricidad (IEA, 2020). De acuerdo con las proyecciones realizadas en la Secretaría de Energía (Sener, 2017), para el año 2031 la participación de la generación de electricidad FV no será mayor a 3.15 %. Partiendo de lo anterior, surge la necesidad de realizar una prospectiva de la participación de la generación de electricidad FV en México.

El presente artículo tiene como objetivo realizar una prospectiva de la participación de la electricidad FV en la canasta energética nacional hacia el año 2050. En concreto, se abordan cuatro facetas: a) la importancia de la energía FV en la mezcla energética del país; b) la evolución de la participación de la generación de electricidad FV en la canasta energética nacional para 2050; c) la aportación de la electricidad FV al sistema eléctrico nacional para 2050 y, d) rubros económicos asociados a la generación de electricidad FV a 2050. Para abordar estas facetas se emplea el método Delphi, que se basa en la consulta a expertos en el sector FV. La consulta incluye entrevistas y retroalimentación con la finalidad de producir una opinión, en lo posible consensuada, sobre la prospectiva de desarrollo en materia de energía FV.

El artículo presenta la visión prospectiva a largo plazo, para 2050, en materia de electricidad FV. La fecha final del análisis se eligió a partir del artículo 4.19 del Acuerdo de París (2015), en el que se han desarrollado estrategias, a nivel regional o local, a

¹ Conviene señalar que la electricidad FV presenta ciertas desventajas, entre las que resaltan: a) dependencia de las condiciones climáticas; b) intermitencia de la fuente energética; c) la baja eficiencia energética; d) la baja utilización de la capacidad máxima / bajo factor de capacidad; y e) el relativo alto costo de producción de electricidad (Maradin, 2021).

² Los índices de irradiación que recibe México 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, 2019).

mediano plazo (2030) y a largo plazo (2050) para un desarrollo con bajas emisiones de gases de efecto invernadero. Para ello, se entrevistó a 18 expertos, entre académicos, investigadores, funcionarios del sector energético e industriales del sector eléctrico de México. Las entrevistas se llevaron a cabo de manera presencial, en las oficinas de los participantes, lo que implicó efectuar 36 viajes a diferentes ciudades del país. Once de ellas se verificaron en la Ciudad de México, una en Toluca, cuatro en el estado de Morelos, una en Querétaro y una en San Luis Potosí. Las entrevistas se realizaron en idioma español y tuvieron una duración que osciló entre los 60 y los 90 minutos. Se obtuvo un conjunto de resultados para cada faceta analizada, entre los que destacan los siguientes:

- a) *Importancia de la electricidad solar FV.* Los expertos señalan cuatro ventajas competitivas de la electricidad FV que definen su importancia para México: 1) sustentabilidad ambiental; 2) favorecida irradiación solar del país; 3) costo decreciente de la energía FV, y 4) zonas geográficas competitivas. Además, la promoción de la electricidad FV ofrece la posibilidad de trasladar ventajas competitivas a los sectores industrial y agrícola.
- b) *Evolución de la participación de la generación de electricidad FV en la canasta energética nacional para 2050.* La mayoría de los expertos, 89 %, opina que la participación de la electricidad FV crecerá en la mezcla energética de México para 2050. Un sector importante de los expertos, 63 %, espera una tasa de crecimiento alta. En general, detallan diversas consideraciones que, en conjunto, abonan a una mayor participación de la generación de electricidad FV en la canasta energética de México. Lo primero es la necesidad de contar con un mercado eléctrico liberalizado. Para lograrlo, es necesaria la presencia de sólidos liderazgos públicos y privados que lo hagan posible. Otro aspecto relevante para que exista una mayor participación de la electricidad FV es el relativo a la competitividad del sector.
- c) *Aportación de la electricidad FV al sistema eléctrico nacional para el año 2050.* De acuerdo con la prospectiva del sector eléctrico para 2050, la generación de electricidad FV enriquecerá el sistema eléctrico nacional debido a las siguientes ventajas que ofrece: i) la interconexión de la electricidad FV a la red pública; ii) la calidad y la autogeneración eléctrica; iii) la implementación de proyectos de sistemas FV complejos y granjas FV interconectadas; iv) un sistema normativo, jurídico y fiscal consistente, estable, seguro y transparente, que fomente la competencia en el mercado eléctrico; v) un marco legal dinámico, que evoluciona al ritmo de

las innovaciones, y vi) la generación de proveedores eléctricos que atienden una demanda cada vez más exigente.

- d) *Rubros económicos asociados a la generación de electricidad FV al año 2050.* En su mayoría (78 %), los expertos estiman que habrá un efecto positivo en el PIB asociado con la generación de electricidad FV. De acuerdo con el 74 % de los expertos, la participación de la energía FV como proporción del PIB crecerá mucho de ahora al año 2050. El 90 % de los expertos opina que habrá un crecimiento del empleo en el sector FV en México. Y, finalmente, el 65 % de los expertos considera que no habrá mucha variación en el costo de la generación de energía eléctrica con la utilización de energía FV.

Los resultados del análisis sugieren que, para materializar las ventajas prospectadas hacia el año 2050 de la generación de electricidad FV, es urgente desarrollar un plan nacional que la impulse. También existe la conciencia de que México necesita llevar a cabo sus propios estudios de integración de la red y de planificación de transmisión para determinar el necesario soporte del sistema y los costos relacionados, así como los beneficios correspondientes en la reducción del precio de electricidad para aminorar el impacto de las desventajas (McNeece, 2020).

Es de destacar que los resultados del método Delphi utilizado en este estudio apuntan hacia el consenso de expertos en cuanto a la perspectiva de la participación de la generación de electricidad para 2050. No obstante, este consenso, realizado en un contexto determinado, no constituye un pronóstico a futuro, sino que permite contrastar el desarrollo real de la generación de electricidad FV, en el periodo comprendido, con lo expresado por los expertos. Por esta razón, las opiniones de los expertos se mantienen vigentes hasta el final del periodo propuesto.

La presente investigación se enmarca en la literatura enfocada a estudiar el sector fotovoltaico. Destacan algunos análisis estimativos y prospectivos de la tecnología FV como alternativa para la generación limpia de energía eléctrica (Beck y Martinot, 2004; Rodríguez-Calvo *et al.*, 2017, y Goel, 2016). En lo que se refiere al uso del método Delphi, en lo que atañe a la tecnología FV destacan dos estudios: Ma *et al.* (2013) utilizan el método Delphi junto con la metodología de proceso de análisis jerárquico (AHP, por sus siglas en inglés) para una toma de decisiones multicriterio con objeto de seleccionar las principales alternativas tecnológicas para la futura industria fotovoltaica de Taiwán.³ Por otra

³ Para una revisión sobre las aplicaciones del método Delphi en la investigación científica, ver Smulkoski *et al.* (2007).

parte, utilizando también una metodología híbrida Delphi-AHP para analizar el potencial de cada tecnología en la cadena industrial de celdas solares en China, Tang *et al.* (2014) obtienen una lista ponderada de valores con el fin de seleccionar las tecnologías clave relacionadas con las celdas solares de silicio para los próximos cinco a diez años.

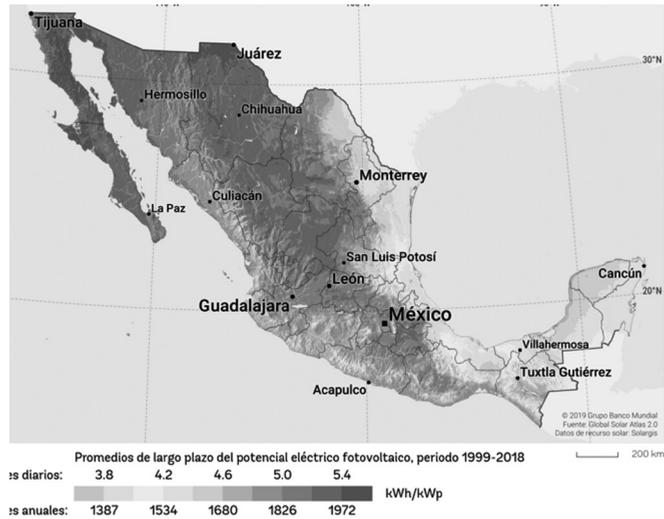
Este artículo difiere de los existentes en que el método Delphi se utiliza para obtener la visión potencial de la participación de la generación de electricidad FV en la mezcla energética de un país en específico, México. Ello brinda una perspectiva de expertos activos en el sector energético del país.

El texto se divide en cuatro secciones. La primera presenta la irradiación solar y la participación de la generación de electricidad FV en México. En la segunda se presenta la metodología del análisis Delphi. La tercera sección detalla el análisis Delphi de prospectiva experta en México. La sección cuatro presenta las conclusiones y comentarios finales.

2. Irradiación solar y participación de la generación de electricidad FV en México

La reducida participación de la generación de electricidad FV en la generación eléctrica nacional contrasta con los altos niveles de irradiación solar de México. Por un lado, para 2019, la generación de electricidad FV fue de 6591 GWh, que correspondió al 1.99 % de la generación total de electricidad (IEA, 2020). Por otro lado, como se muestra en el mapa 1, la irradiación solar de México, que en promedio es de 2300 KWh/m² al año, está por demás favorecida (ver mapa 1).

Mapa 1. Potencial eléctrico FV en México



Fuente: The World Bank (2019).

De hecho, la irradiación solar que recibe México es mucho mayor que la de los tres principales países generadores electricidad FV (IEA, 2020). China es el principal país generador de electricidad FV, con 223 800 GWh, y su irradiación solar es de 1750 KWh/m². En segundo lugar se encuentra Estados Unidos, con 93 129 GWh de electricidad FV e irradiación solar de 2044 KWh/m². Japón ocupa el tercer lugar, con una generación de electricidad FV de 74 114 GWh e irradiación solar de 1679 KWh/m². En la tabla 1 se muestran los datos correspondientes a los principales países generadores de electricidad FV (ver tabla 1).

Tabla 1. Principales países generadores de electricidad FV, 2020

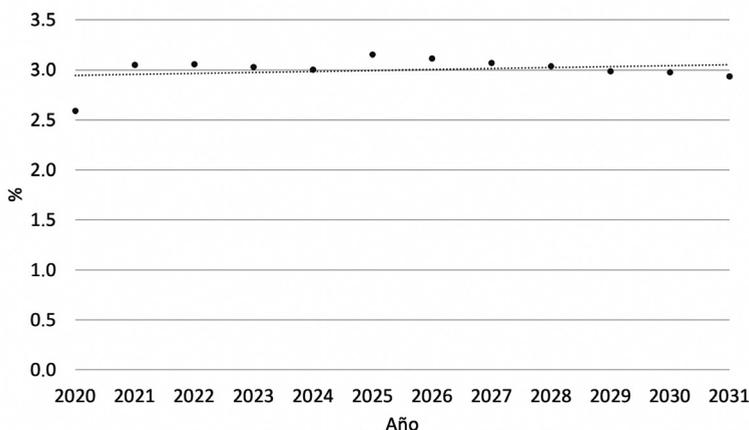
Países	Generación de electricidad FV (GWh)	Niveles promedio anuales de irradiación solar (KWh/m ²)
China	223 800	1750
Estados Unidos	93 129	2044
Japón	74 114	1679
México	6591	2300

Fuente: elaboración propia con información de IEA (2020).

Es evidente que la generación de electricidad FV de China, Estados Unidos y Japón es mucho mayor que la correspondiente a México. No obstante, estos tres países reciben una irradiación solar considerablemente menor a la de México, que tiene el potencial de contar con 30 GW de capacidad solar instalada para el año 2030, de la cual 60 % correspondería a capacidad de gran escala y 40 % a capacidad de generación solar distribuida. Ello convertiría a México en la séptima potencia de energía solar en el mundo (Asolmex, 2022).

Sin embargo, de acuerdo con las proyecciones realizadas en la Sener (2017), la participación de la generación de electricidad FV tendrá una tendencia ligeramente creciente de entre 1 % y 3.15 % para los años 2020-2031. De mantenerse estas proyecciones, para 2050 la generación de electricidad FV tendrá una participación del 3.22 %.⁴ La figura 1 muestra la tendencia de la participación proyectada de la generación de electricidad FV en la generación eléctrica nacional (ver figura 1).

Figura 1. Participación proyectada de la generación de electricidad FV en México



Fuente: elaboración propia con datos de Sener (2017).

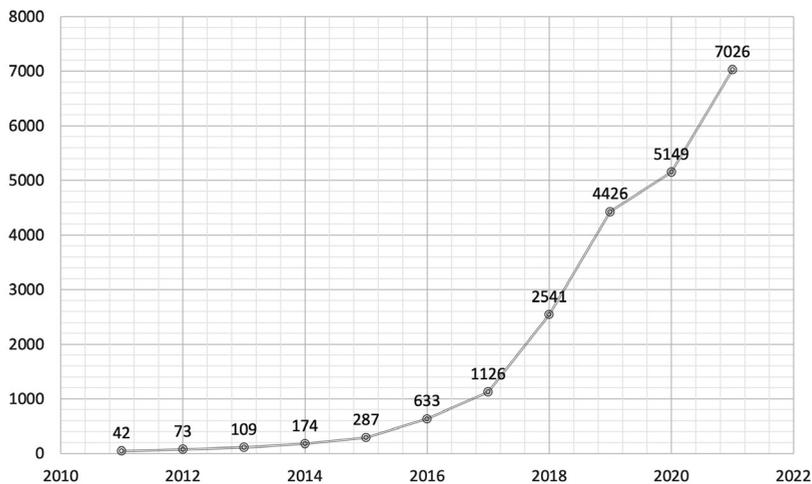
Es de destacar que, en el escenario hipotético en que la generación de electricidad FV solo dependiera de la irradiación solar de un país, México habría generado 115 733.7 GWh en 2019, lo que correspondería a 36.12 % de la generación total de

⁴ Para calcular esta participación, se consideró que la variable y corresponde al porcentaje de participación de la electricidad FV, mientras que x corresponde al año. Por lo que, a través de mínimos cuadrados ordinarios se obtiene que $y = 0.0098x - 16.875$ con $R^2 = 0.062$.

dicho año (Juárez-Luna y Urdiales, 2022). Dicha participación dista mucho del 1.99 % que la generación de electricidad FV tuvo en 2019 y del 3.22 % estimado que tendrá en 2050.

Adicionalmente, la generación de la electricidad FV está directamente ligada con la capacidad FV instalada en México la cual, si bien ha crecido, en 2020 correspondió solo a 6.4 % de la capacidad instalada total (Irena, 2020). En la figura 2 se presenta la evolución de la capacidad FV instalada en México (ver figura 2).

Figura 2. Evolución de la capacidad instalada en energía solar FV en México (MW)



Fuente: elaboración propia con base en Irena (2020).

Partiendo de lo anterior, es evidente que el contraste entre la baja participación de la generación de la electricidad FV y la favorecida irradiación solar de México persistirá, al menos, hasta el año 2050. No obstante, la participación de la generación de electricidad FV depende de factores más complejos que solo la irradiación solar de México o la capacidad FV instalada. Por esta razón, es difícil hacer predicciones sobre la evolución de dicha participación en el futuro. Sin embargo, es posible obtener el consenso de un grupo de expertos sobre la participación futura de la generación de electricidad FV en la generación eléctrica nacional. Dicho consenso también dará sugerencias sobre las características del sector FV, así como de los rubros económicos específicos asociados a la electricidad FV hacia 2050. A la metodología que analiza el consenso entre expertos de un área se le llama análisis Delphi, el cual se detalla en el siguiente apartado.

3. Metodología del análisis Delphi

El método Delphi se basa en la consulta a un grupo de expertos de un área con el fin de obtener la opinión de consenso más fiable de dicho grupo. A los expertos seleccionados se les entrevista individualmente mediante una serie de cuestionarios en profundidad. Tras sucesivas respuestas individuales, se produce una opinión que representa al grupo (Reguant-Álvarez y Torrado Fonseca, 2016).

El método Delphi, el cual se ilustra en la figura 3, se compone de las siguientes cuatro fases (ver figura 3):

a) *Fase de análisis y definición.* Se explora la literatura y se recaba la contribución de los colaboradores expertos, lo que constituye el estado del arte del objeto de estudio. Posteriormente, se definen los objetivos de la investigación, fundamentales para el diseño de los cuestionarios (Prescott y Soeken, 1989).

Esta primera etapa se desarrolla de la siguiente manera: 1) identificar los propósitos del estudio; 2) conceptualizar el cuestionario; 3) diseñar el cuestionario; 4) desarrollar una muestra piloto; 5) refinar el instrumento de investigación y 6) desarrollar las técnicas de análisis de datos.

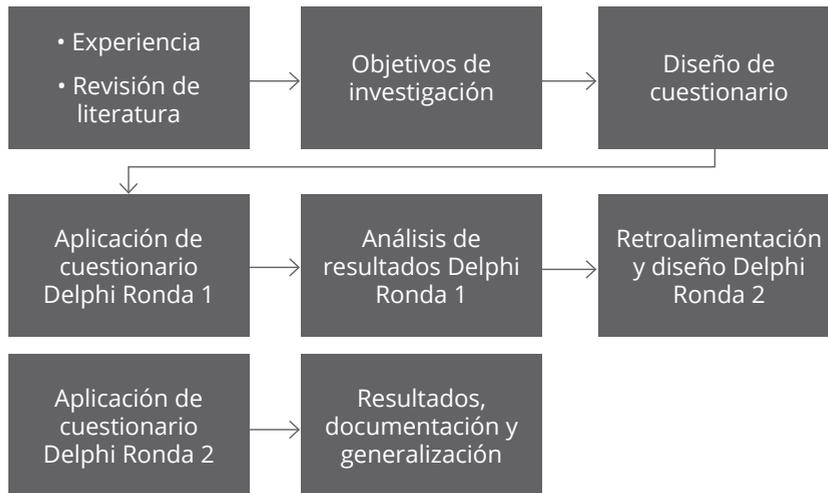
Los cuestionarios se responden anónimamente. Las preguntas pueden ser de diferentes tipos (por ejemplo, abiertas, de *ranking*, de control, etcétera), de las cuales se extrae la información más útil para el estudio.

b) *Fase de integración del grupo de expertos.* El componente crítico de la metodología Delphi consiste en las opiniones de los expertos. Por lo que, seleccionarlos adecuadamente es crucial para el buen desarrollo del estudio. A este respecto, los expertos seleccionados deben cubrir los siguientes cuatro requisitos: 1) el conocimiento y la experiencia en las cuestiones que se están investigando; 2) la capacidad y la voluntad de participar; 3) el tiempo suficiente para participar en el Delphi, y 4) las habilidades de comunicación efectivas (Ashton, 1986; Bolger y Wright, 1994; Parenté *et al.*, 1994; Adler y Ziglio, 1996).

c) *Fase de ejecución de las rondas de consulta.* Dos o tres iteraciones de Delphi son suficientes para la mayoría de las investigaciones (Holland y Campbell, 2005). Después de cada ronda se hace una retroalimentación con toda la información estadística de las respuestas. Este informe se envía a los expertos junto con el cuestionario de la siguiente ronda, con el fin de que ellos revisen sus planteamientos a la luz de la nueva información que se les está entregando frente a las opiniones de los otros participantes.

d) *Fase de resultados.* Finalmente, se analizan y documentan los resultados.

Figura 3. Método Delphi



Fuente: elaboración propia con base en Skulmoski *et al.* (2007) y Ashton (1986).

Para identificar a los expertos potenciales, se emplearon criterios de inclusión, dado que no es aceptable una selección aleatoria o no fundamentada (Ludwig, 1997). Se seleccionó a un panel de expertos equilibrado y representativo, para asegurar una perspectiva diversa y global, con las siguientes características: con experiencia pilotando o implementando tecnología FV; quienes han presentado o publicado en el campo, y quienes han ocupado cargos de decisión e influencia en el sector eléctrico. También se incluyó a empresarios cuya visión contribuiría en el trabajo del panel. Como resultado, se contó con una muestra de 18 expertos, entre académicos, investigadores, funcionarios del sector energético e industriales del sector eléctrico de México.

Las entrevistas se llevaron a cabo de manera presencial, en las oficinas de los participantes. Para realizarlas, fue necesario efectuar 36 viajes a diferentes ciudades del país. Once se verificaron en la Ciudad de México, una en Toluca, cuatro en el estado de Morelos, una en Querétaro y una en San Luis Potosí. La duración de las entrevistas osciló entre los 60 y los 90 minutos. Todas las entrevistas se hicieron en idioma español. En cada una, el experto respondió íntegramente el cuestionario aplicado y de propia mano realizó las observaciones que consideró pertinentes. Los resultados de las entrevistas y cuestionarios se transcribieron y concentraron en archivo digital.

En la tabla 2 se proporcionan detalles demográficos y de experiencia de los participantes de la investigación. Se han mantenido ciertos detalles deliberadamente vagos (por ejemplo, ofreciendo rangos de edad de entrevistados en lugar de la edad real) para mantener el anonimato de nuestros participantes en la investigación (ver tabla 2).⁵

Tabla 2. Datos demográficos y de campo de especialidad de los participantes

Experto	Rango de edad	Principal área de experiencia	Segunda área de experiencia	Años de experiencia en el sector energético	Rol	Institución principal	Institución secundaria
1	30 a 40	Generación electricidad	Tecnología eléctrica	15 a 20	Investigador	Centro de investigación	
2	61 a 70	Generación electricidad	Tecnología eléctrica	21 a 30	Investigador	Universidad	
3	31 a 40	Generación electricidad	Tecnología eléctrica	15 a 20	Investigador	Universidad	Centro de investigación
4	41 a 50	Regulación	Políticas públicas	21 a 30	Director	Empresa privada	Cámara sectorial
5	32 a 40	Generación electricidad	Energía renovable	15 a 20	Director	Universidad	
6	33 a 40	Energía renovable	Regulación	15 a 20	Consultor	Empresa privada	Centro de investigación
7	51 a 60	Energía solar	Políticas públicas	21 a 30	Investigador	Organismo público	
8	51 a 60	Generación electricidad	Tecnología eléctrica	21 a 30	Investigador	Centro de investigación	
9	61 a 70	Generación electricidad	Tecnología eléctrica	21 a 30	Director	Centro de investigación	

⁵ Para la presentación y el tratamiento de los datos obtenidos en las entrevistas, se sigue de cerca lo realizado por Prasad *et al.* (2019).

Experto	Rango de edad	Principal área de experiencia	Segunda área de experiencia	Años de experiencia en el sector energético	Rol	Institución principal	Institución secundaria
10	61 a 70	Políticas públicas	Regulación	más de 30	Director	Organismo público	Organismo internacional
11	61 a 70	Generación electricidad	Políticas públicas	más de 30	Director general	Organismo público	Universidad
12	61 a 70	Energía solar	Generación electricidad	más de 30	Director	Organismo público	Empresa privada
13	51 a 60	Políticas públicas	Generación electricidad	21 a 30	Senador	Poder Legislativo	
14	34 a 40	Generación electricidad	Tecnología eléctrica	15 a 20	Investigador	Centro de investigación	
15	61 a 70	Generación electricidad	Regulación	más de 30	Investigador	Universidad	
16	61 a 70	Políticas públicas	Regulación	más de 30	Director general	Organismo público	Universidad
17	51 a 60	Tecnología eléctrica	Generación electricidad	21 a 30	Director general	Empresa privada	
18	42 a 50	Políticas públicas	Regulación	21 a 30	Director general	Organismo público	

Fuente: elaboración propia con datos de las entrevistas a los expertos.

El panel de expertos se integró en 28 % por presidentes y directores generales de empresas, organismos públicos o institutos científicos, 22 % por directores de área y gerentes funcionales, 39 % investigadores y 12 % por profesionales asociados al sector energético entre consultores y legisladores.

La selección del panel de expertos que participó en las dos rondas de aplicación del cuestionario, se realizó mediante un proceso que cuidó en todo momento lo siguiente:

- a) El conocimiento y la experiencia de cada experto en materia energética, específicamente, en políticas públicas asociadas a la generación, regulación y desarrollo de sistemas FV. Para ello, se consideró el número de proyectos dirigidos y/o publicaciones relevantes en el campo durante los últimos cinco años, en políticas públicas (16 %); tecnología de generación eléctrica (27 %); tecnología eléctrica sola (16 %); regulación económica (16 %) e innovación y difusión tecnológica (25 %).
- b) La capacidad para poder brindar opiniones y evaluar previsiones para la industria FV, así como la voluntad de participar en un ejercicio anónimo y concurrente.
- c) La disposición del tiempo suficiente para participar en las dos rondas del Delphi.
- d) Las habilidades de comunicación efectivas que permiten la comprensión concreta de las opiniones vertidas. A este respecto, se destaca que 66 % del panel de expertos se constituyó por personas vinculadas, total o parcialmente, con universidades y centros de investigación, y un tercio de los expertos se vinculan profesionalmente con organismos públicos. Adicionalmente, otros expertos se desempeñan en el sector privado o participan en labores de representación en cámaras industriales o en la función legislativa.

A continuación, se diseñó un primer cuestionario, amplio en extensión, para determinar los puntos de estudios prioritarios y poder describir, en forma de escenarios, la evolución más probable de las variables clave para nuestro objeto de estudio (Godet, 2000; Miklos y Tello, 1991).

El diseño del cuestionario permite identificar las opiniones de los expertos en cuatro diferentes facetas en México: a) la importancia de la energía FV en la mezcla energética del país; b) la evolución de la participación de la generación de electricidad FV en la canasta energética nacional para el año 2050; c) la aportación de la electricidad FV al sistema eléctrico nacional para el año 2050, y d) rubros económicos asociados a la generación de electricidad FV al año 2050. En este sentido, los hallazgos determinan su percepción sobre la factibilidad y el horizonte en el tiempo para realizar los cambios detectados.

4. Análisis Delphi de prospectiva experta en México

En esta sección se presenta el análisis Delphi del consenso de los expertos. Es de destacar que el consenso de los expertos presenta una alta consistencia, la cual

se captura por el coeficiente de confiabilidad Alfa de Cronbach, que toma valores en [0.1], donde 0 indica nula consistencia y 1 indica la más alta consistencia posible (Muñiz, 2010). En el presente análisis, el coeficiente de confiabilidad Alfa de Cronbach es de 0.98.

A continuación, se presenta el consenso de las opiniones de los expertos en las cuatro facetas analizadas.

Importancia de la electricidad solar FV

Los expertos señalan cuatro ventajas competitivas de la electricidad solar FV que la hacen importante para México.

1. *Sustentabilidad ambiental.* La electricidad FV es amigable con el medio ambiente y permite introducir políticas públicas que premien a los generadores y consumidores de electricidad FV. Para los expertos se considera una energía limpia y por lo tanto representa un «campo de acción muy amplio frente al cambio climático» (experto 12).
2. *La situación favorecida de irradiación solar del país.* México posee una ubicación geográfica con un alto potencial de energía solar directa que permite el aprovechamiento óptimo de sistemas FV, por lo que su ventaja se centra en «el abundante recurso solar» (experto 8) y «el alto nivel de insolación en vastas zonas del país» (experto 16).
3. *Costo decreciente de la energía FV.* Se estima que los costos de la tecnología FV, así como de la generación eléctrica FV, mantendrán un decrecimiento importante. Ello incrementará la oferta y la demanda de electricidad FV, al punto de ser un sustituto viable para la electricidad generada mediante otras fuentes de energía, tanto renovables como no renovables. Para los expertos «en México la energía solar fotovoltaica ha resultado ser un generador más barato para producir electricidad» (experto 13), lo que a juicio de los expertos «se impulsaría el desarrollo socioeconómico en el país» (experto 14).
4. *Zonas geográficas competitivas.* Los expertos estiman que México posee extensas áreas desérticas y semidesérticas que pueden aprovecharse para el establecimiento de granjas solares, además de que muchas de estas zonas, situadas al norte del país, colindan o son cercanas a uno de los mayores consumidores de

electricidad del mundo. Adicionalmente, señalan que la electricidad FV permite a poblaciones rurales, o alejadas de la red eléctrica nacional, acceder a la misma, por lo que resulta «una excelente opción» (experto 15) y puede ser utilizada en la «construcción de vivienda sustentable» (experto 16).

De acuerdo con los expertos, la promoción de la electricidad FV ofrece la posibilidad de trasladar ventajas competitivas a otros sectores productivos del país y recibir beneficios de esas ventajas. Principalmente destacan lo siguiente:

El sector industrial. El consenso es generalizado en cuanto a que toda industria requiere electricidad y que la misma proviniere de sistemas FV generaría ahorros en costos y reducción de importaciones. Los expertos destacan que estas ventajas, en muy buena medida, se extenderán a todos los sectores productivos, en especial a cadenas de valor hacia la producción de insumos y la manufactura de estaciones eléctricas (expertos 3, 5, 8 y 18). Sus opiniones son específicas al señalar diversas ventajas que se aprovechan en múltiples subsectores de la industria, debido a que se trata de una «energía rápida modulable y escalable, estable y predecible a largo plazo y a costos predeterminados, mantenimiento prácticamente de cero, además de representar una imagen corporativa y compromisos tangibles de sustentabilidad» (experto 13), que «tiene varias o muchas ventajas para el país en agricultura para riego, industria, iluminación de todas las carreteras del país, turismo, y podría ser a nivel educativo» (experto 14), que permite «la mejora en la eficiencia y su disminución en el costo facilitan su instalación y contribuye a alcanzar la meta de energías sustentables» (experto 16), y da la «posibilidad de tener en el futuro energía eléctrica más económica y limpia, y generación de empleos directos e indirectos en áreas poco desarrolladas del país, aprovechamiento de energía descentralizada y controlada por el mismo usuario» (experto 17).

El sector agrícola. El grupo de expertos estima que uno de los sectores más beneficiados sería el agrícola, principalmente porque en ciertas regiones el recurso eléctrico es escaso, y en ocasiones nulo, ya sea por la lejanía con la red, por lo difícil del acceso, por las condiciones de pobreza y el atraso tecnológico. De forma particular se señalan las áreas rurales como aquellas donde se trasladan las ventajas de la energía FV, en parte porque «no daña las áreas ya que es fácil de instalar» (experto 6) y «tiene varias o muchas ventajas para el país en agricultura para riego» (experto 14). Los sistemas eléctricos FV permitirían desarrollar el sector superando esas condiciones adversas a las que hoy se enfrenta, y pueden funcionar estando interconectados a la red eléctrica nacional o incluso fuera de ella.

Evolución de la participación de la generación de electricidad FV en la canasta energética nacional para el año 2050

La mayoría de los expertos (89 %), opina que la participación de la electricidad FV crecerá en la mezcla energética de México para 2050. La tasa de crecimiento esperada es alta de acuerdo con un sector importante de los expertos (63 %), pese a que, entre ellos, también se percibe que el Estado mexicano no tiene un interés real de fortalecer el sector FV de la misma manera en que se quiere fortalecer el sector de la energía eólica.

Los expertos detallan diversas consideraciones que, en conjunto, abonan a una mayor participación de la generación de electricidad FV en la canasta energética de México. Lo primero es la necesidad de contar con un *mercado eléctrico liberalizado*. Para ello, los expertos estiman que deberán presentarse «estudios serios que demuestren objetivamente que el mercado liberalizado es mejor para el crecimiento fotovoltaico» (experto 9), «analizar la pertinencia de generalizar la liberalización de los mercados energéticos» (experto 4) y la necesidad de «abrir discusiones sobre privatización y formación de nuevos proveedores de estos servicios eléctricos» (experto 6).

La presencia de un mercado liberalizado permitirá la generación de electricidad eficiente y limpia, lo que para 79 % de los expertos es posible, si bien dependerá del «establecimiento de metas concretas y de mayor magnitud con respecto a la penetración fotovoltaica» (experto 8), de que se mantenga «una reforma energética y del Estado» (expertos 15 y 16), se dé «preferencia a la generación a través de energías renovables» (experto 17) y finalmente se «publiciten los avances» (experto 9).⁶

Una parte importante en este proceso es que «se debe implementar capacitación masiva de los actores de suministro y uso de energía eléctrica patrocinado por instituciones e industrias» (experto 1) y «el esfuerzo debe concentrarse en infraestructura de transmisión y distribución» (experto 6).

⁶ Es de destacar que, entre los expertos, hay quienes perciben (16 %) que existen factores que llevarían a que la generación eficiente y limpia de electricidad se realice hasta después de 2050. Tales factores son; el precio de la electricidad FV; la falta de una planeación energética a largo plazo, o la imposibilidad de convertir o sustituir las centrales de generación actuales.

Sin embargo, una condición para lograr un mercado liberalizado es la presencia de «sólidos liderazgos públicos y privados que la hagan posible». Al respecto, 79 % de los expertos estiman que los actuales liderazgos de la estructura del sector eléctrico serán capaces de asumir las responsabilidades suficientes para tomar iniciativas, aun a pesar de factores externos desfavorables. Si bien, para ello, deberán existir condiciones como el que «deben crecer las iniciativas del nivel individual municipal estatal hacia nacional» (experto 1), «que los sindicatos no interfieran» (experto 6), que se designe «personal competente para ocupar los cargos correspondientes en la Secretaría de Energía» (experto 9), que se fortalezcan «las instituciones involucradas» (experto 10) así como establecer «una agenda común de impulso en este sector a corto y largo plazo» (experto 13).

Otro aspecto relevante para que exista una mayor participación de la electricidad FV es el relativo a la *competitividad del sector*. Los expertos señalan que es preciso que se mantenga la atención sobre ciertas condiciones para potenciarla: i) en cuanto a la innovación: una gestión del conocimiento sólida; disponibilidad de transferencia tecnológica, o un entorno institucional y legal favorable al fomento de la innovación tecnológica; ii) en cuanto a la capacidad de explotación, producción y gestión del sector FV: disponibilidad de acceso a fuentes de financiamiento de los proyectos FV y, iii) en cuanto a su capacidad de comercialización: la estabilidad de los costos de los insumos.

Aportación de la electricidad FV al sistema eléctrico nacional para el año 2050

De acuerdo con la prospectiva del sector eléctrico para 2050, la generación de electricidad FV enriquecerá el sistema eléctrico nacional por las siguientes ventajas que ofrece: i) la interconexión de la electricidad FV a la red pública; ii) la calidad y la autogeneración eléctrica; iii) la generación de proyectos y sistemas FV complejos y granjas FV interconectadas; iv) un sistema normativo, jurídico y fiscal consistente, estable, seguro y transparente que fomente la competencia en el mercado eléctrico; v) un marco legal dinámico, que evoluciona al ritmo de las innovaciones y vi) la generación de proveedores eléctricos que dan atención a una demanda cada vez más exigente. No obstante, los expertos destacan que es necesario desarrollar una estrategia nacional en torno a la generación de electricidad FV para materializar dichas ventajas. Les resulta fundamental «simplificar los mecanismos que regulan la participación privada en el sector», por una parte, (experto 5) y que «no haya

resistencia al cambio, con funcionarios que conozcan el tema y coadyuven a aplicar esas tecnologías» (experto 12). A continuación, se detallan algunos requerimientos que, de acuerdo con los expertos, deben cumplirse para materializar las ventajas de la electricidad FV.

- i) La interconexión de la electricidad FV a la red pública integrada, fluida y sin fisuras entre los diferentes operadores, será realidad, siempre y cuando se hagan «las inversiones necesarias para modernizar las redes de instrucción y subtransmisión eléctrica» (experto 9); se desarrollen «estudios de impacto de la integración a gran escala de los sistemas fotovoltaicos a la red» (experto 8) y se eliminen «barreras que aún persisten, particularmente en la Comisión Federal de Electricidad» (expertos 16 y 17).

Si bien, la interconexión de la electricidad FV a la red pública resulta imperativa, el factor de la calidad de la energía producida y la posibilidad de autogeneración son elementos que permitirán un «desarrollo socioeconómico homogéneo del país, reducción de disparidad en la industria y, en general, un desarrollo sustentable» (experto 1). Pero lograr una calidad similar a la de los países más desarrollados, si la medimos en indicadores tales como costos, eficiencia energética, seguridad energética y satisfacción de la demanda, requiere, a juicio de los expertos, de un «incremento de recursos y apoyo a la ciencia» (experto 2), de «invertir en soluciones de almacenamiento de energía» (experto 4), «integrar el desarrollo de la cadena de valor de la tecnología con metas específicas a los planes y estrategias nacionales» (experto 8) y «perfeccionar los distintos instrumentos de apoyo para el fomento del uso de fuentes renovables de energía entre ellas, la solar» (experto 13).

- ii) Una estrategia nacional que permita tanto la interconexión de sistemas FV a la red pública, como altos estándares de calidad y autogeneración eléctrica, necesita, en opinión de los expertos, «simplificar los mecanismos que regulan la participación privada en el sector» (experto 5) y que «no haya resistencia al cambio, funcionarios que conozcan el tema y coadyuven a aplicar esas tecnologías» (experto 12), así como «establecer la cadena de valor fotovoltaica en el país» (experto 9) y formar «un grupo, gobierno, industria y personal académico experto en el tema» (experto 14) de forma tal que se apoye «a los institutos de investigación que están trabajando en su desarrollo» (experto 16).
- iii) El trabajo para la ejecución de esta estrategia nacional, si se realiza adecuadamente, permitirá la generación de proyectos y sistemas FV complejos y granjas

FV interconectadas, que en opinión de la mayoría de los expertos (74 %) es viable, debido a que «el territorio nacional es vasto en recurso solar y el fotovoltaico es una opción de lo más atractiva para toda la República» (experto 1). La condición que sugieren es, por ejemplo, «estandarizar una interfaz y costos» (experto 6) o bien que exista «inversión por parte del gobierno federal» (experto 14). Señalan asimismo considerar «importantes las campañas de difusión con expertos del ramo que permitan el desarrollo de granjas, pues en nuestro país es de lo más recomendable por su captación [de energía solar] que es prácticamente todo el año» (experto 13).

Generar y operar granjas FV es, sin embargo, un proceso complejo. Más aún lo es planificar, financiar, instalar y operar proyectos de electricidad FV complejos, que involucren a una amplia base de empresas privadas y organismos del Estado. Debido a estas consideraciones, la mayoría de los expertos (52 %), independientemente de la viabilidad técnica, son poco optimistas al considerar algo o poco factible el que ello se concrete antes del año 2050. Esta opinión se basa en la percepción de esos expertos de una falta de visión y planeación estratégica del Estado y la disonancia de visiones políticas encontradas e «incorporar el tema en la política económica» (experto 16). Para los expertos es preciso que «la Comisión Federal de Electricidad y otras instancias [promuevan la] interconexión de electricidad fotovoltaica a la red», (experto 1) así como el desarrollo de «planes transectoriales en torno a la tecnología fotovoltaica» (expertos 6 y 8) para que se logre la implementación. Proponen «que los proyectos de generación sean separados de la necesidad de transmisión» (experto 4), «modificar el actual esquema de expansión de capacidad que actualmente está principalmente basado en productos independientes» (experto 9) y aprovechar otros recursos como «el sector hídrico [que] sí tiene capacidad para planificar y financiar proyectos fotovoltaicos, quizá un proyecto megahídrico en la frontera» (experto 12).

- iv) Las opiniones recabadas en este estudio se orientan en el sentido de que, adicional a la planificación estatal, se precisa de un marco normativo, jurídico y fiscal relativo a todas las actividades de generación eléctrica, que sea consistente, estable, seguro y transparente.
- v) Este marco legal además fomenta la innovación y es, a la vez, lo suficientemente dinámico, que evoluciona a la par de la tecnología. La mayoría de los expertos (58 %) considera que esta realidad es poco factible que se presente, ya que para ello se requiere, sugieren, entre otras medidas, «fortalecer la

capacidad de organismos normativos, así como de la autoridad regulatoria para evitar que sea capturada por el poder económico» (experto 10), así como «empoderar a la Comisión Reguladora de Energía para que emita las reglas correspondientes y asegure su cumplimiento» (experto 9). Los expertos insisten en que «hace falta empezar por asistir al desarrollo de un sistema legal y jurídico para alcanzar las metas deseadas» (experto 15) y mantener «una mejor comunicación entre expertos del tema y gente del sistema normativo jurídico y fiscal» (experto 5). Uno de los temas regulatorios relevantes se refiere, por ejemplo, a la necesidad de «transparentar y fijar los mecanismos de tarifas» (experto 4). Para estos expertos, «se debe lograr generar experiencia y diversos estudios que permitan proveer un marco institucional y regulatorio adecuado a las exigencias que permitan un mejor manejo de estos nuevos proyectos» (experto 13).

- vi) Finalmente, uno de los aportes de la electricidad FV a la mezcla eléctrica nacional deberá ser la generación de proveedores eléctricos que atiendan una demanda cada vez más exigente, lo cual solo será posible si se establecen múltiples condiciones, comenzando porque las energías renovables «deben ser cuestión de Estado, no de preferencia económica» (experto 4). Por ello, los expertos insisten en el «fortalecimiento del marco regulatorio de acuerdo con las exigencias competitivas» (experto 13) y «simplificar los mecanismos que regulan la participación privada en el sector con el fin de crear una sana competencia entre participantes» (experto 5).

Adicionalmente, los expertos señalan la importancia de que se impulse el «desarrollo de la cadena de valor fotovoltaica en el país» (experto 9) y «propiciar la inversión mexicana en fabricación de productos» (experto 17). Al respecto, esta tarea es compleja para México debido a una variedad de consideraciones en la cadena de suministro de la industria FV mundial. En América Latina, las instalaciones récord esperadas en 2022 de equipos fotovoltaicos condujeron a importaciones sin precedentes de módulos, los cuales, fueron suministrados por el sudeste asiático y China (IEA, 2022). Adicionalmente, entre los países participantes en la producción mundial, de los quince minerales utilizados para la fabricación de módulos para energía solar FV para 2021, México únicamente destaca en la producción de plata junto con China y Perú (IEA, 2022).⁷ Por último, en la actualidad, la mayoría del personal calificado

⁷ Los otros catorce minerales utilizados son aluminio, antimonio, cobre, cadmio, cromo, indio, plomo, molibdeno, níquel, fosfato, acero, telurio, estaño y zinc (IEA, 2022).

para trabajar en la industria FV se encuentra en China y el sudeste asiático, por lo que la diversificación requerirá de parte de México un esfuerzo concertado para capacitar a nuevos empleados. Cualquier estrategia para aumentar la capacidad de fabricación FV, como señalan los expertos, debe incluir un componente de enseñanza y capacitación de la fuerza laboral.

De esta forma, estiman los expertos, se concretará el escenario en el que se favorece la oferta de la cadena completa, en lugar de los componentes por separado, por parte de cualquiera de sus integrantes. Para ello consideran preciso, por ejemplo, que «se debe dejar al mercado para que este, de manera gradual, sea promovido por los usuarios» (experto 1), y que se debe «capacitar a los operadores del sector sobre la tecnología fotovoltaica» (experto 9). Lo anterior teniendo en cuenta que se deben «acelerar las acciones para convertir o sustituir las centrales de generación obsoletas» (experto 16).

Rubros económicos asociados a la generación de electricidad FV al año 2050

En este apartado se analizan algunos rubros económicos, asociados a la electricidad FV, hacia el año 2050.

1. *Porcentaje del PIB asociado con la generación de energía eléctrica FV.* En su mayoría (78 %), los expertos estiman que habrá un efecto positivo en el PIB asociado a la generación de electricidad FV, aunque primordialmente en forma moderada. Este hecho estriba en que, para que se desarrolle más el sector FV en México e impacte con mayor fuerza en el PIB es necesario vincularse energéticamente con Estados Unidos y Canadá, para crear un clúster energético semihemisférico.
2. *Evolución de la participación de la electricidad FV en valor como proporción del PIB.* De acuerdo con 74 % de los expertos, la participación de la energía FV como proporción del PIB crecerá mucho de ahora al año 2050. Esta evolución se refiere a la participación de la energía FV en la generación eléctrica del país, desde ahora hasta el 2050.
3. *Cantidad de personas empleadas en el sector de energía FV.* El 90 % de los expertos opina que habrá un crecimiento del empleo en el sector FV en México. Este resultado es positivo, ya que implica que el sector FV es prometedor para generar empleos.

4. *Evolución de los costos de generación de la electricidad FV.* El 65 % de los expertos considera que no habrá mucha variación en el costo de la generación de energía eléctrica con la utilización de FV. Las opiniones discordantes son representativas del argumento de que para que existan costos bajos en el mercado, estos deberán contar con subsidios gubernamentales que iguallen los costos de generación eléctrica mediante otras tecnologías, sean o no renovables.

5. Conclusiones y comentarios finales

¿Cuál será la participación de generación de la electricidad FV en la canasta energética nacional hacia el año 2050? ¿Cuál será la aportación de la electricidad FV al sistema eléctrico nacional para 2050? ¿Qué rubros económicos se verán afectados directamente por la generación de electricidad FV hacia el año mencionado? Es difícil dar respuestas precisas a estas preguntas, no obstante, el presente artículo sugiere en principio la necesidad de contar con un *mercado eléctrico liberalizado*. Para lograrlo, es necesaria la presencia de sólidos liderazgos públicos y privados. La mayoría de los expertos, 89 %, opina que la participación de la electricidad FV crecerá en la mezcla energética de México para 2050. La tasa de crecimiento esperada es alta por un sector importante de los expertos, equivalente a 63 %.

De acuerdo con la perspectiva del sector eléctrico para 2050, la generación de electricidad FV enriquecerá el sistema eléctrico nacional por las siguientes ventajas que ofrece: i) la interconexión de la electricidad FV a la red pública; ii) la calidad y la autogeneración eléctrica; iii) la generación de proyectos y sistemas FV complejos y granjas FV interconectadas; iv) un sistema normativo, jurídico y fiscal consistente, estable, seguro y transparente, que fomente la competencia en el mercado eléctrico; v) un marco legal dinámico, que evoluciona al ritmo de las innovaciones, y vi) la generación de proveedores eléctricos que atienden una demanda cada vez más exigente.

Finalmente, el 90 % de los expertos opina que habrá un crecimiento del empleo en el sector FV en México y el 65 % considera que no habrá mucha variación en el costo de la generación de energía eléctrica con la utilización de energía FV. De acuerdo con el 74 % de los entrevistados, la participación de la energía FV como proporción del PIB crecerá mucho de ahora al año 2050.

Los resultados del presente análisis sugieren que es urgente desarrollar un plan nacional que impulse la generación de electricidad FV. Ello permitirá materializar las ventajas, prospectadas hacia 2050, de la generación de electricidad FV. Dicho plan nacional puede enriquecerse tomando como referencia casos de éxito, como el español. En 2021, España reportó una participación de 8.3 % de la tecnología FV en la mezcla energética peninsular, lo que significó un crecimiento de 2.1 % respecto a la participación del año anterior (Red Eléctrica, 2022).⁸



Esta obra se distribuye bajo una Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

⁸ Para profundizar en las políticas y los mecanismos que han impulsado la participación de la electricidad FV en España, ver Espejo y Aparicio (2020a y 2020b).

Referencias

- Acuerdo de París. (2015). https://unfccc.int/sites/default/files/spanish_paris_agreement.pdf
- Adler, M. y Ziglio, E. (1996). *Gazing into the oracle: The Delphi Method and its application to social policy and public health*. Jessica Kingsley Publishers.
- Ashton, R. (1986). «Combining the judgments of experts: How many and which ones?». *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 38 (3), 405-414. [https://doi.org/10.1016/0749-5978\(86\)90009-9](https://doi.org/10.1016/0749-5978(86)90009-9)
- Asociación Mexicana de Energía Solar (Asolmex). (2022). ASOLMEX. <https://asolmex.org/>
- Beck, F. y Martinot, E. (2004). «Renewable Energy Policies and Barriers». En C. J. Cleveland (Ed.). *Encyclopedia of Energy*. Academic Press/Elsevier Science. http://biblioteca.cejamericas.org/bitstream/handle/2015/3308/Renewable_Energy_Policies_and_Barriers.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Bolger, F. y Wright, G. (1994). «The quality of expert probability judgement: issues and analysis». *Expert Systems*, 11 (3), 149-158. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0394.1994.tb00321.x>
- Espejo, C. y Aparicio, A. (2020a). «La producción de electricidad con energía solar fotovoltaica en España». *Revista de Estudios Andaluces* (39), 66-93. <https://doi.org/10.12795/rea.2020.i39.04>
- Espejo, C. y Aparicio, A. (2020b). «Orto y ocaso de la industria de fabricación de módulos fotovoltaicos en España». *Lurralde* (43), 393-438. https://www.ingeba.org/lurralde/lurranet/lur43/Lurralde_43_2020_Espejo.pdf
- Godet, M. (2000). *La caja de herramientas de la prospectiva estratégica*. Gerpa, Cuadernos de LIPS, núm 5. <http://es.lapropective.fr/dyn/espagnol/bo-lips-esp.pdf>
- Goel, M. (2016). «Solar rooftop in India: Policies, challenges and outlook». *Green Energy & Environment*, 1(2), 129-137. <https://doi.org/10.1016/j.gee.2016.08.003>
- Holland, J. y Campbell, J. (2005). *Methods in development research: combining qualitative and quantitative approaches*. Practical Action .
- International Energy Agency (IEA). (2020). *World Energy Outlook 2020*. P. IEA.
- International Energy Agency (IEA). (2022). *Special Report on Solar PV Global Supply Chains*. IEA. <http://www.iea.org>
- International Renewable Energy Agency (Irena). (2020). *Renewable capacity statistics 2020*. Irena. <https://irena.org/publications/2020/Mar/Renewable-Capacity-Statistics-2020>
- Juárez-Luna, D. y Urdiales, E. (2022). «Generación de electricidad fotovoltaica: ignorada, en la práctica como en la teoría, en México». En Ruiz-Porras A. y Salas Durazo I. A.

- (eds.). *Temas Contemporáneos de Investigación en Economía y Políticas Públicas II*. Universidad de Guadalajara.
- Ludwig, B. (1997). «Predicting the Future: Have you considered using the Delphi Methodology?». *Journal of Extension*, 35 (5). <https://archives.joe.org/joe/1997october/tt2.php>
- Ma, D., Chang, C.-C. y Hung, S.-W. (2013). «The selection of technology for late-starters: A case study of the energy-smart photovoltaic industry». *Economic Modelling*, 35, 10-20.
- Maradin, D. (2021). «Advantages and disadvantages of renewable energy sources utilization». *International Journal of Energy Economics and Policy*, 176-183. doi:10.32479/ijeeep.11027
- McNeece, J. (2020). *Los Argumentos Económicos y Estratégicos para la Energía Renovable en México*. Institute of the Americas / Wilson Center Mexico Institute.
- Miklos, T. y Tello, M. (1991). *Planeación prospectiva: una estrategia para el diseño del futuro*. Limusa.
- Muñiz, J. (2010). «Las teorías de los test: teoría clásica y teoría de respuesta a los ítems». *Papeles del Psicólogo*, 31(1), 57-66.
- Parenté, F., Anderson, J., Myers, P. y O'brien, T. (1984). «An examination of factors contributing to delphi accuracy». *Journal of Forecasting*, 173-182. <https://doi.org/10.1002/for.3980030205>
- Prasad, A., Segarra, P. y Villanueva, C. (2019). «Academic life under institutional pressures for AACSB accreditation: insights from faculty members in Mexican business schools». *Studies in Higher Education (Dorchester-on-Thames)*, 44 (9), 1605-1618.
- Prescott, P. y Soeken, K. (1989). «The Potential Uses of Pilot Work». *Nursing Research*, 38 (1), 60.
- Red Eléctrica. (2022). *El Sistema eléctrico español*. Red Eléctrica de España. https://www.sistemaelectrico-ree.es/sites/default/files/2022-07/InformeSistemaElectrico_2021.pdf
- Reguant-Álvarez, M. y Torrado Fonseca, M. (2016). «El método Delphi». *Revista d'Innovació i Recerca en Educació*, 9 (1), 87-102. <https://doi.org/10.1344/reire2016.9.1916>
- Rodríguez-Calvo, A., Cossent, R. y Frías, P. (2017). «Integration of PV and EVs in unbalanced residential LV networks and implications for the smart grid and advanced metering infrastructure deployment». *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 121-134. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2017.03.008>
- Sampaio, P. G. y 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

- Secretaría de Energía (Sener). (2017). *Prospectiva del Sector Eléctrico 2017-2031*. Sener.
- Skulmoski, G., Hartman, F. y Krahn, J. (2007). «The Delphi Method for Graduate Research». *Journal of Information Technology Education*, 6 (1), 1-21.
- Tang, Y., Sun, H., Yao, Q. y Wang, Y. (2014). «The selection of key technologies by the silicon photovoltaic industry based on the Delphi method and AHP (analytic hierarchy process): Case study of China». *Energy*, 474-482.
- The World Bank. (2019). *Global Solar Atlas*. World Bank Group. <https://globalsolaratlas.info/map>

■ Sobre los autores

David Juárez-Luna es profesor investigador de la Facultad de Economía y Negocios de la Universidad Anáhuac México; doctor en Economía por la Universidad de Essex, Inglaterra; maestro en Economía por el Centro de Investigación y Docencia Económicas (CIDE), México; ingeniero matemático por la Escuela Superior de Física y Matemáticas del Instituto Politécnico Nacional. Es investigador nacional nivel I del Sistema Nacional de Investigadores. Sus líneas de investigación son: 1) altruismo y redistribución, 2) política de generación eléctrica, y 2) brecha de género. Ha publicado en, entre otras revistas, *The Economic Journal*. Ha sido docente en distintas universidades: Instituto Politécnico Nacional; Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (Campus Ciudad de México) y Universidad de Essex. Fue profesor investigador de la División de Economía donde también fue coordinador de las maestrías en Economía y en Economía Ambiental.

david.juarez@anahuac.mx
<https://orcid.org/0000-0002-8013-699X>

Eduardo Urdiales Méndez es profesor de la Facultad de Economía y Negocios de la Universidad Anáhuac México; doctor en Gestión Estratégica y Políticas de Desarrollo por la Universidad Anáhuac México; maestro en Negocios Internacionales por el ICN-Nancy, en Francia, y maestro en Humanidades por la Universidad Anáhuac, así como licenciado en Administración y Finanzas por la Universidad Panamericana. Sus áreas de investigación giran en torno a la energía fotovoltaica, sustentabilidad y estrategia de empresa.

eduardo.urdialesme@anahuac.mx
<https://orcid.org/0000-0002-4431-295X>