



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Maestría en Economía

Instituto de Investigaciones Económicas

Economía de la tecnología

**La adopción de sistemas fotovoltaicos para la generación distribuida en la Ciudad de México bajo el marco tecnológico- institucional de las ciudades inteligentes**

TESIS

Que para optar por el grado de maestro en Economía

Presenta

Arzate Beltrán Héctor Jair

Tutor

Dr. Angel de la Vega Navarro, Facultad de Economía

Miembros del comité

Almanza Adolfo Sánchez, Instituto de Investigaciones Económicas

Bonilla Vargas David, Instituto de Investigaciones Económicas

Cruz Marcelo José Nabor, Instituto de Investigaciones Económicas

Pacheco Rojas Daniel Alejandro, Facultad de Economía

Ciudad Universitaria, Ciudad de México, marzo 2018



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## Dedicatorias

A mi jurado por revisar y validar el profesionalismo de mi trabajo

A las personas que he conocido por las experiencias compartidas y el apoyo

A la Universidad por su gente, sus espacios y su inspiración

A mis hermanos y mi madre por TODO

## Índice

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>5</b>
Hipótesis.....	8
Marco teórico- metodológico.....	8
<b>CAPÍTULO 1 LA TRAYECTORIA TECNOLÓGICA DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA Y EL FORTALECIMIENTO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN LOS SISTEMAS ENERGÉTICOS MUNDIALES</b> .....	<b>12</b>
Contexto internacional de la participación de las energías renovables.....	12
Tendencias del desarrollo de las energías renovables y la energía fotovoltaica en el mundo.....	14
Políticas nacionales de adopción de energía fotovoltaica para la generación distribuida conectada a la red.....	21
Tecnologías habilitadoras del uso de las energías fotovoltaicas para la generación distribuida.....	22
Conclusiones del capítulo 1.....	24
<b>CAPÍTULO 2 LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y LA REFORMA DEL MERCADO ELÉCTRICO EN MÉXICO</b> .....	<b>26</b>
La liberalización del mercado eléctrico mexicano.....	26
Marco legislativo para la transición energética y la participación de los sistemas fotovoltaicos de generación distribuida.....	28
El mercado eléctrico mexicano, la participación de las energías renovables y la evolución de la energía fotovoltaica para la generación distribuida.....	33
Conclusiones del capítulo 2.....	33
<b>CAPÍTULO 3 LAS CIUDADES INTELIGENTES COMO MODELO TECNOLÓGICO INSTITUCIONAL PARA LA INCORPORACIÓN DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EN LA CIUDAD DE MÉXICO</b> .....	<b>36</b>
Las Ciudades inteligentes, caracterización y relevancia para la adopción de sistemas fotovoltaicos para la generación distribuida.....	36
Elementos para la adopción de sistemas fotovoltaicos para la generación distribuida en la Ciudad de México.....	41
Estadísticas de la energía fotovoltaica en esquemas de generación distribuida en México..	47
Caracterización de la oferta y la demanda potencial de energía fotovoltaica en esquemas de generación distribuida en la Ciudad de México.....	49
Acciones para la adopción de energía fotovoltaica en formatos de generación distribuida en la Ciudad de México.....	56
Conclusiones del capítulo 3.....	58
<b>CONCLUSIONES Y PROPUESTAS</b> .....	<b>59</b>
¿Vale la pena la adopción de los sistemas frente a los objetivos energéticos y ambientales del país?.....	59

¿Cómo adoptar sistemas fotovoltaicos para la generación distribuida en la Ciudad de México? .....	61
<b>ANEXOS .....</b>	<b>63</b>
Abreviaturas, siglas y unidades de medida.....	63
Definiciones.....	65
Anexo estadístico de energía eléctrica y de adopción de energía fotovoltaica en México .....	71
Bibliografía de anexos.....	79
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>80</b>

## Introducción

La tesis, justificándose en las estadísticas de participación de la generación fotovoltaica en México y el interés del país por utilizar energías renovables en su matriz eléctrica, plantea formular un marco robusto de características que permitan la aceleración de la adopción de esta tecnología en el sistema energético nacional.

La transición de las actividades y participantes de la cadena eléctrica mexicana y el reconocimiento de las necesidades y capacidades del sistema eléctrico nacional, determinan los nichos de adopción de la energía fotovoltaica, las capacidades de los proyectos de generación y los esquemas de negocio en los que se pueden realizar dependiendo del sector consumidor.

La hipótesis de la investigación señala que en la Ciudad de México, los esquemas de generación eléctrica fotovoltaica se pueden realizar a través de sistemas de generación eléctrica distribuida en nichos de consumo como los usuarios de tarifa eléctrica DAC y empresas y unidades domésticas con tarifa 2 gracias a un marco legislativo e institucional que pondera las características de esta tecnología sobre las de esquemas de generación “tradicional” en México, y que se refleja en incentivos, políticas públicas y acciones de los participantes del mercado eléctrico y otros agentes con relevancia en este.

La temporalidad de la investigación se define con referencia al marco de transición energética mundial, el cual es análogo a la mudanza de estructura eléctrica nacional, y que alimenta a este segundo marco a través de la innovación tecnológica y legislativa en materia de energías renovables, y en particular, en la fotovoltaica. La temporalidad de la investigación en la tesis está contenida desde la década de los noventa hasta el año 2017, sin embargo, las proyecciones del crecimiento del uso de los sistemas fotovoltaicos en la Ciudad de México incluidas toman como referencia los objetivos de participación de energías renovables a 2030.

La espacialidad de la tesis refiere tres niveles territoriales que se ligan a factores de la energía fotovoltaica, con el fin de evidenciar su competitividad como tecnología eficaz y eficiente en la cobertura de necesidades energéticas y ambientales del marco temporal señalado.

Los tres niveles territoriales y los factores considerados son; a nivel mundial, el desarrollo tecnológico e innovación de los sistemas fotovoltaicos, el reconocimiento de la generación de energía con base en combustibles fósiles como factor relevante en la generación de gases de efecto invernadero y las metas multilaterales por transformar la matriz de generación con fuentes de energía de baja emisión de GEI como la energía fotovoltaica.

El segundo nivel territorial es nacional, los poderes públicos en México han legislado desde los años noventa, un grupo de leyes y normas con el fin de transitar del esquema de generación eléctrico centralizado en espacio, fuentes energéticas y participantes, hacia un sistema con mayor competencia e integración en estos tres elementos, y a los que se le suma el factor ambiental que también se consideraba en la legislación a nivel internacional.

Por último, a nivel entidad federativa, en la Ciudad de México, como si fuera un espejo, los factores señalados en los otros niveles territoriales tienen que encontrar una forma de traducirse, ya sea en políticas u otras formas de acción de los agentes productivos y consumidores; e inclusive en factores menos trabajados, traducidos como estudios que demuestran el reconocimiento de un problema o de una solución referente a la adopción de los sistemas fotovoltaicos.

El eje rector de la investigación y los factores de aceleración para la adopción de la tecnología seleccionada es el desarrollo del concepto de ciudad inteligente. En este trabajo se consideran las ciudades inteligentes como un marco de acción de desarrollo institucional y tecnológico que incentiva estrategias basadas en la aplicación de sistemas conectados, los cuales son capaces de aumentar la eficiencia de las actividades y el uso de recursos al permitir la comunicación inmediata entre los elementos del sistema; al mismo tiempo, considera incentivos para las estrategias que consideran resultados en la sustentabilidad, el mejoramiento de la calidad de vida de los ciudadanos y la democratización de la implementación de las innovaciones.

Los resultados del capítulo uno, consideran los avances históricos del desarrollo tecnológico de la energía fotovoltaica como el aumento de su eficiencia al convertir la energía, el cambio de usos respecto a las necesidades de sus consumidores y el paso a los sistemas conectados, la transformación de la composición de la oferta mundial, la disminución del precio de generación y su impacto en el factor trabajo en referencia a otras tecnologías, entre otros aspectos.

Se contextualizó estos desarrollos de la energía fotovoltaica durante la tendencia legislativa multilateral de reconocimiento y mitigación de los efectos del cambio climático por emisión de gases de efecto invernadero como externalidad resultante de la actividad antropogénica. En el caso de la electricidad, considera que la generación de GEI de los procesos de las energías renovables (como la Fv) es menor respecto a la emisión de contaminantes emitidos por la generación eléctrica de combustibles fósiles, y que la sustitución de fuentes de generación junto a estrategias de eficiencia tienen uno de los impactos más importantes en la reducción de gases contaminantes por sector productivo.

En el capítulo se describieron brevemente los esquemas de negocio que los países de la vanguardia en energías renovables en el mundo y en América Latina han adoptado para permitir el crecimiento del mercado fotovoltaico.

Al final, se comprobó que los sistemas fotovoltaicos son competitivos en una gran parte del mundo y que, en la década de 2020, pueden ser inclusive, los métodos de generación eléctrica más rentable en la modalidad de gran escala. Como segundo resultado, la característica de baja generación de GEI en los procesos de transformación fotovoltaicos es adecuada a las necesidades reconocidas por organismos mundiales en el combate al cambio climático.

El capítulo 2 se enfoca en mostrar el proceso histórico de transición del mercado eléctrico mexicano; en contraste con el capítulo uno, en el que los aspectos de sustentabilidad, de eficiencia y eficacia se ligan a las propiedades de la tecnología fotovoltaica, el marco legislativo del segundo capítulo se expande para considerar la transformación de la participación de oferentes en el sistema eléctrico.

Como conclusión del capítulo dos, se encontró que a la par de los marcos de incentivo que significan las legislaciones referentes a la sustentabilidad y eficiencia energética, la apertura de en el eslabón de la generación eléctrica a más participantes que el sector público en pequeña, mediana y gran escala, es el factor determinante para la inversión en proyectos de energía fotovoltaica.

En el capítulo tres se busca vaciar los resultados de los capítulos previos en la estructura del mercado de energía eléctrica de la Ciudad de México.

Sin embargo, antes de realizar este paso se definieron dos cosas; primero, el marco conceptual de ciudades inteligentes, en que consiste y cuáles son los resultados que se esperan obtener a través de la implementación de estrategias de producción basadas en él.

En segundo lugar, se determinaron las características del mercado eléctrico de la Ciudad de México, la infraestructura relacionada, sus agentes y características de los factores ligados a la posible implementación de energía fotovoltaica.

Gracias a la definición previa de este contexto, se observaron las posibles implementaciones de los sistemas fotovoltaicos de generación distribuida de pequeña escala según el tipo de usuario, los modelos en los que se puede llevar a cabo la inversión y los beneficios en cada grupo de participantes del sistema eléctrico, es decir, sector público, oferentes privados y consumidores.

El aporte resultante de la investigación se resume en que la adopción en la Ciudad de México de energía fotovoltaica se puede realizar a través de sistemas de generación eléctrica distribuida de pequeña escala en nichos de consumo como los usuarios de la tarifa eléctrica DAC y las empresas y unidades habitacionales con tarifa 2.

Si este resultado en sí mismo concreta una propuesta para el desarrollo de un mercado local de energías renovables junto con otras herramientas de implementación, al mismo tiempo logra otras connotaciones y propone nuevas investigaciones.

Entre los resultados está que el crecimiento del mercado fotovoltaico en la Ciudad de México seguirá creciendo a niveles récord hasta el umbral del 2030, pero mucho de esto relacionado a la marginal participación de la energía fotovoltaica y los modelos de generación distribuida.

El apoyo al consumo de equipos fotovoltaicos en usuarios colectivos de tarifa 2 es una forma de democratizar los beneficios de la transición energética y los esquemas de venta y consumo de excedentes de cantidades de energía eléctrica.

Se requiere de una estrategia clara de cadenas productivas en la industria fotovoltaica, ¿se mantendrá la actual estructura de participación en la cadena fotovoltaica o se fomentará la actividad en sectores con mayor derrama económica? Y si el desarrollo industrial local no es el objetivo, ¿cuál será la estrategia arancelaria y fiscal para el consumo de los sistemas fotovoltaicos y sus equipos?

En este mismo orden de ideas, es necesaria una investigación enfocada a los circuitos de financiamiento y herramientas financieras como subsidios, tarifas de importación y bonos para el consumo de sistemas fotovoltaicos para sectores con una brecha más amplia de consumo de energía (pymes hacia arriba, deciles de hogares más bajos) y el desarrollo de infraestructura productiva en eslabones de mayor valor agregado y cantidades de trabajo en la cadena fotovoltaica.

En investigaciones futuras se debe considerar otros espacios para entender el mercado de energía eléctrica para la zona dado el grado de integración de la zona urbana del valle de México y la consideración regional de servicio eléctrico de CFE.



## Hipótesis

En referencia a las características legislativas e institucionales del marco de innovación de ciudades inteligentes, la Ciudad de México cuenta con las características adecuadas para la adopción de sistemas fotovoltaicos en esquemas de pequeña escala para los usuarios domésticos DAC, usuarios domésticos sin incentivos de consumo propio de la generación del sistema, y empresas con consumo eléctrico de hasta 25kW al mes.

## Marco teórico- metodológico

La temporalidad del estudio presente está acotada por la perspectiva de transformación del mercado eléctrico en México señalada en la abrogada Ley para el aprovechamiento de energías renovables y el financiamiento de la transición energética (LAERFTE), la cual señalaba el uso de fuentes energéticas renovables para la generación eléctrica del 35% del total producido para el año 2024. Esta temporalidad es respetada aún en la Ley de transición energética (LTE)<sup>1</sup> en el artículo tercero transitorio<sup>2</sup>.

El trabajo comprende aspectos diversos, los cuales, sin embargo, consideran periodicidades similares, abarcando la década de 1990 y las dos primeras del siglo XXI.

Por una parte, el sector eléctrico mexicano ha avanzado intensamente hacia su liberalización durante los últimos sexenios, siendo la inclusión de agentes participantes en él, punto de inflexión en la expansión de modelos de negocio de la industria eléctrica la consideración de nuevas fuentes energéticas, tecnologías y objetivos de política energética.

Otro de los aspectos a considerar es la integración de internet a dispositivos de funcionalidad no informática para el consumidor en función del monitoreo y mantenimiento de los bienes y servicios adquiridos. Sobre esta cuestión es importante precisar en el concepto de Internet de las cosas (*Internet o Things*):

*...to the networked interconnection of everyday objects, which are often equipped with ubiquitous intelligence. IoT will increase the ubiquity of the Internet by integrating every object for interaction via embedded systems, which leads to a highly distributed network of devices communicating with human beings as well as other devices. (Xia. 2012, p. 1)*

El internet de las cosas es parte de la trayectoria de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), éste corte histórico se coordina con el desenvolvimiento y habilitación de procesos en escalas múltiples, la descentralización del espacio productivo y la transformación

---

<sup>1</sup> La consideración de la ley abrogada a pesar de la existencia de la LTE es que ésta realiza su proyección con base en la primera. Sumado a ello, la LTE considera los plazos y las metas en un artículo transitorio, susceptible a cambios.

<sup>2</sup> Tercero. - La Secretaría de Energía fijará como meta una participación mínima de energías limpias en la generación de energía eléctrica del 25 por ciento para el año 2018, del 30 por ciento para 2021 y del 35 por ciento para 2024. (LTE, 2015)

de paradigmas tecnológicos y de negocio en sectores como el de servicio eléctrico en el que los sitios de supervisión son diferentes a los sitios de generación o cualquier otro proceso de la cadena.

En el caso particular del estudio, la medición y el monitoreo de parámetros en tiempo real permiten la identificación y el control de contingencias para los sistemas de generación eléctrica descentralizada de forma inmediata. Este factor disminuye la incertidumbre de la actividad de energía de fuentes energéticas cuyo flujo energético puede sufrir intermitencias y/o fluctuaciones, ya que, en caso de acontecer, puede apoyarse en los flujos de energías de la red eléctrica general.

En la esquematización de los aspectos considerados en la tesis, se busca que estos se fijen a un espacio histórico- geográfico con un sistema institucional definido que genere los incentivos para el uso de la tecnología fotovoltaica específica; en este orden de ideas se recurre al concepto de *Ciudad inteligente*.

En García, et al. (2007) se señala que dar la propiedad de inteligencia a un ente comunitario como la ciudad es adecuado bajo la idea de que esta cualidad cubre varios aspectos del bienestar del ser humano, que, en algunos casos, requiere de la acción colaborativa y el reconocimiento de las características del espacio que sirve como contexto de todas las actividades para el logro de metas conjuntas e individuales.

La inteligencia es un concepto complejo que engloba varios saberes; los conocimientos objetivos, los emocionales, las capacidades para crear, emprender y resolver problemas, así como para lograr la felicidad personal. Los autores señalan que las ciudades sirven como marco donde el desarrollo de la inteligencia individual se logra a través de las inteligencias compartidas, este término refiere las experiencias y las actividades que los individuos ejecutan colaborativamente para lograr metas individuales (como un proyecto social, conyugal y/o familiar) (García et al., 2007).

La ciudad inteligente, para fin del estudio, es aquella que considera el desarrollo productivo del espacio urbano como una construcción histórica ligada a un cuerpo institucional basado en parámetros de fomento de participación ciudadana, la eficiencia de recursos, la sustentabilidad y la generación de oportunidades para la actividad económica. Esta construcción de parámetros se basa en la capacidad efectiva de las tecnologías de la información y la comunicación que permite la rápida y eficaz respuesta de los sistemas y los agentes frente a shocks repentinos en los procesos productivos. Esta capacidad de acción inmediata entre espacios alejados físicamente permite desvincular la generación o producción de satisfactores de un solo centro de producción.

El término de Ciudad inteligente, considerado por algunas corrientes en el urbanismo, se utiliza para conceptualizar el desarrollo del territorio y el crecimiento de los espacios urbanos en su relación con la desvinculación de los centros productivos gracias a la comunicación tanto interna como externa de la región en la que se localiza (Ioannis, 2010). Sin embargo, se considera que el concepto carece de una definición consensuada y que muchas veces tiende a utilizarse a favor de una acrítica necesidad de incorporar tecnologías en los procesos de las ciudades como en el servicio eléctrico, transporte, gobernanza, entre otros, omitiendo o negando vulneraciones a la privacidad y la posibilidad de segregar grandes grupos sociales de

estos nuevos paradigmas, intensificando así, las brechas en el desarrollo de estos grupos. (García et al., 2007).

Las ciudades inteligentes son una construcción histórica ligada a la necesidad de crear territorios sostenibles a la par del proceso de globalización económica en el que se busca la fragmentación productiva en búsqueda de las ventajas locales. Sin embargo, el territorio<sup>3</sup> entendido desde el concepto de ciudad inteligente (y otros derivados como ciudad resiliente) considera aspectos más allá de los económicos y que, sin embargo, son fundamentales para los procesos económicos; tal es el caso del crecimiento poblacional, la concentración o dispersión de agentes y servicios, la gestión gubernamental y la capacidad de resiliencia de la ciudad ante eventos no esperados, etc.<sup>4</sup>.

Para dirigir el enfoque de la tesis se utilizan conceptos del evolucionismo económico, el cual estudia la caracterización histórica e institucional de los procesos tecnológicos, en como la competencia y el crecimiento económico influyen en ese desarrollo tecnológico, y en identificar y evaluar las barreras que perjudican o mejoran la incrustación de la innovación en el mercado.

Un concepto central que rige el enfoque de este trabajo es el de *paradigma tecnológico*, esto es “un esquema de solución de determinados problemas tecno económicos basados en principios muy selectos derivados de las ciencias naturales”<sup>5</sup> (Dosi, 1988, p.277). La satisfacción de una necesidad puede realizarse a través de distintas tecnologías con base de distintos insumos; sin embargo, el enfoque considera que la decisión de la elección de una tecnología sobre otra va más allá de la capacidad de producción y que se relaciona a la adaptabilidad de las tecnologías respecto a la satisfacción de necesidades.

La trayectoria tecnológica es la forma de elección económica que determina el desarrollo de una tecnología respecto a la satisfacción de necesidades. La tecnología no es completamente flexible, pues si bien, contiene un porcentaje de conocimiento público, también está integrada por conocimiento tácito y privado (además de que se cuenta con recursos escasos para producir los insumos necesarios para la experimentación y el desarrollo de tecnología), esto significa que el número de trayectorias de un paradigma tiene un número límite de trayectorias y rigidez de la capacidad de soluciones específicas para satisfacer necesidades.

En el caso de la energía eléctrica, la consideración de los servicios ambientales y de resiliencia ocurridos durante la generación eléctrica con equipos con base en fuentes renovables tiene un mayor nivel de satisfacción respecto a la generación con base en hidrocarburos. Sin embargo, determinar la sustentabilidad de las tecnologías podría no ser suficiente, otros aspectos como “el desarrollo de infraestructuras, economías de escala, tecnologías complementarias, y normas

---

<sup>3</sup> El uso del término territorio sobre el de espacio se debe a la consideración de que la definición del primero refiere al espacio apropiado y valorizado por grupos humanos” (Giménez, 1999)

<sup>4</sup> Estos aspectos son compilados a partir de diferentes publicaciones de organismos internacionales, en referencia al desarrollo de ciudades inteligentes y resilientes, Banco interamericano de desarrollo (Bouskela, et al. 2016) y United Nations Conference on Housing and Sustainable Urban Development (2016).

<sup>5</sup> Junto a este término, en el capítulo uno se ocupará el concepto de trayectoria tecnológica que refiere al proceso de elección económica que define el desarrollo tecnológico de un paradigma. En el caso de estudio, la energía solar tiene dos vertientes generales, la generación de calor y la producción eléctrica; cada trayectoria está regida a sectores particulares de producción o consumo. Dentro de cada vertiente existe también un plural número de trayectorias; en el caso de las fotovoltaicas, los sistemas de gran escala se ligan a la producción, mientras que los sistemas de pequeña escala tienen como fin el consumo o la habilitación de actividades de bajo consumo eléctrico como son algunos servicios.

técnicas particulares que se basan en esquemas específicos de innovación” (Dosi, 1988, p. 301) fortalecen la elección y el progreso de particulares trayectorias dentro de este paradigma. Para este estudio, el espacio físico, el desarrollo de un cuerpo legislativo favorable, la evolución de las TIC y el interés por la sustentabilidad en la actividad humana y en relación con su ambiente, son las bases para la elección y el desarrollo de la trayectoria de la generación eléctrica distribuida en las ciudades

Es indispensable identificar el papel de las instituciones en la elección de un paradigma tecnológico sobre otros, ya que estas relaciones identifican las necesidades particulares de una configuración social- espacial particular. Las respuestas tecnológicas de la ciudad de Londres del siglo xix poco tienen que ver con las especificidades de los requerimientos tecnológicos de la Ciudad de México del siglo xxi, implícitamente, el orden institucional demanda y moldea la tecnología con base en la satisfacción de las necesidades (por eso preferimos los automóviles a las carretas) particulares de la coyuntura y el grado de desarrollo de la misma tecnología. Este proceso de elección tecnológica se codifica explícitamente en leyes, reglamentos y normas, y al mismo tiempo se representan en costos, precios y tarifas.

La sustitución de paradigmas tecnológicos es complicado cuando hay un alto grado de adopción del paradigma tradicional; la participación de instituciones (tanto tácita como explícitamente) y el desarrollo paralelo de tecnologías complementarias que aumentan el valor total satisfacción de una trayectoria puede permitir el avance de un paradigma nuevo.

Sin embargo, esto puede significar un problema metodológico. ¿Cómo podría evaluarse y comparar el valor de cobertura de satisfacción de necesidades más allá de lo contabilizado a través de medidas económicas?

Se demostrará que la implementación de sistemas fotovoltaicos de generación distribuida en la CDMX se evalúa de mejor forma que los métodos tradicionales del servicio eléctrico bajo el orden jerárquico designado por la configuración institucional presente en su modelo de ciudad.

Los análisis de las ciudades comprenden tres planos que se traslapan unos a otros y que son inherentes a estos (García, et al., 2007), *urbs*, la ciudad física, la infraestructura; *civita*, el aspecto social, la heterogeneidad y los grupos dentro del espacio físico; y *polis*, la cuestión política ligada a la participación ciudadana a diferentes niveles, desde lo local hasta lo más extenso.

La importancia del análisis de la ciudad se establece porque determina y valida los aspectos que la propuesta para la transformación en alguno de los planos mencionados debe cumplir considerando transversalmente a los tres planos, como consecuencia de su indivisibilidad.

En el caso particular del estudio, la adopción de sistemas fotovoltaicos, la transformación de un aspecto en la infraestructura significa al mismo tiempo una transformación en la *civita* y en la *polis*; es decir, representa nuevas formas de participación de la ciudadanía y la particularidad de sus instituciones y leyes.

Retomando el concepto de inteligencias compartidas, la propuesta del estudio debe cumplir con señalar factores que la incorporación de sistemas FV mejoren el bienestar ciudadano, y que se expresen en los componentes de la ciudad.

# Capítulo 1 La trayectoria tecnológica de los sistemas fotovoltaicos para la generación distribuida y el fortalecimiento de las energías renovables en los sistemas energéticos mundiales

## Contexto internacional de la participación de las energías renovables

El interés por reformar la actividad productiva en México en respuesta a la mitigación y adaptación a los efectos dañinos del cambio climático, documentado en las *Intended Nationally Determined Contributions* (INDCs) dentro del marco de la 21ª Conferencia de las partes (COP) celebrada en París, Francia, significa implementar una amplia diversidad de nuevos procesos que aminoren las cantidades de generación antropogénica de gases de efecto invernadero (GEI) en un 22% para el año 2030.

Las propuestas mexicanas se insertan en un contexto de necesidad por mitigar el incremento promedio de la temperatura global a menos de 2°C para finales del siglo, esto, acordado por 195 de los 197 países<sup>6</sup> presentes en la conferencia.

Las cantidades de GEI de los procesos humanos dependen de factores como la eficiencia energética, las fuentes de energía, la escala y los métodos de los procesos de satisfacción de necesidades, etc. Tanto las actividades de consumo y la producción son generadoras de GEI, actividades como la agricultura, la gran industria y los servicios son importantes generadores de estos nocivos contaminantes, pero también lo son las actividades que hacen uso de los satisfactores producidos como cocinar y transportarse.

Este trabajo se enfoca en la actividad de transformación de la energía de sus fuentes originales a un formato más aprovechable para la actividad humana, la energía eléctrica, la cual, según datos del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2013), ocupa el segundo lugar en generación de GEI en México (solo detrás de fuentes móviles) generando 127 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente<sup>7</sup> al año que representan el 19% del total.

La generación eléctrica alimenta una gran parte de nuestros procesos productivos, su capacidad de deslocalizarse respecto al espacio de generación y la facilidad de implementarla en dispositivos y equipos modernos, la hace atractiva para su constante ampliación en uso, en cuestión de 15 años, el crecimiento a nivel mundial al año que realizamos como individuos de este grupo de energías ha aumentado en 1,000 KWh.

Tabla 2. Consumo eléctrico per cápita a nivel mundial (miles)

Año	KWh	Año	KWh
1990	2,125.421	2003	2,489.764
1991	2,151.448	2004	2,576.588
1992	2,132.160	2005	2,654.389
1993	2,138.305	2006	2,730.790
1994	2,161.564	2007	2,820.587
1995	2,198.933	2008	2,842.057

<sup>6</sup> Nicaragua y Siria no firmaron, y en 2017 EE.UU. salió del pacto

<sup>7</sup> De 665 Mt de CO<sub>2</sub>e totales, generados en 2013

1996	2,238.029	2009	2,792.701
1997	2,260.753	2010	2,956.639
1998	2,283.023	2011	3,021.707
1999	2,315.560	2012	3,046.572
2000	2,385.053	2013	3,106.283
2001	2,378.660	2014	3,144.377
2002	2,433.424		

Fuente The World Bank con datos de IEA

Históricamente, la generación eléctrica en el mundo se ha ligado a los combustibles fósiles debido a los costos de generación, la certidumbre de abastecimiento y la tecnología que permite la transformación masiva de estos en electricidad; sin embargo, en las últimas décadas, la generación eléctrica a partir de fuentes energéticas renovables ha comenzado a aumentar su ritmo de adopción.

Como consecuencia de la crisis del petróleo en la década de 1970 se vislumbró la necesidad de desarrollar la industria de energías renovables para compensar la incertidumbre del abastecimiento y accesibilidad geopolítica de los recursos energéticos en el mundo. Esta incertidumbre sobre la soberanía y autosuficiencia de los paradigmas energéticos en los países radica en dos aspectos de los recursos fósiles; son un bien escaso cuya sustracción en algún momento de la historia será imposible o económicamente inviable, y en que la ubicación de los recursos no es homogénea en la tierra, y que la posibilidad de explotarlos está limitada a los países que los poseen.

Los sistemas fotovoltaicos se empezaron a utilizar comercialmente a partir de los años setenta, para 1990, este incremento alcanzó los 48 MWh (ONU, 1993).

Desde finales de los ochenta, a nivel mundial, a las problemáticas energéticas se agregó la preocupación de los efectos nocivos de la generación en los sistemas energéticos de gases de efecto invernadero. Dicha preocupación se inserta en la tendencia de organismos internacionales, como la Comisión Mundial sobre Desarrollo y Medio Ambiente, por reconocer que la actividad humana incide en los procesos naturales y que, a pesar de que algunas de estas alteraciones no tienen consecuencias inmediatas y visibles, sus resultados catastróficos se presentarán en periodos de tiempo de no muchas generaciones humanas.

El calentamiento global es un hecho de la naturaleza; los seres vivos y otros sistemas abióticos toman parte activa en la emisión de GEI a la atmósfera. Sin embargo, esta expulsión calorífica puede ser asimilada por la misma naturaleza gracias a adecuaciones de los sistemas en millones de años; a diferencia de este proceso, la emisión antropogénica de GEI a la atmósfera no puede ser asimilada de la misma forma como consecuencia de su mayor intensidad. El cambio abrupto de la temperatura global y los sistemas climáticos provoca que muchas especies no pueden sobrevivir, los paisajes se transformen y que catástrofes climáticas modifiquen su temporalidad, espacialidad e intensidad.

Ante la necesidad de transformar las actividades humanas en favor de mitigar nuestra liberación de GEI a la atmósfera, la evolución tecnológica en el sector eléctrico se considera fundamental para la transformación de nuestra producción dada la expectativa de mejoramiento en su eficiencia y eficacia energética frente a otros procesos energéticos más contaminantes.

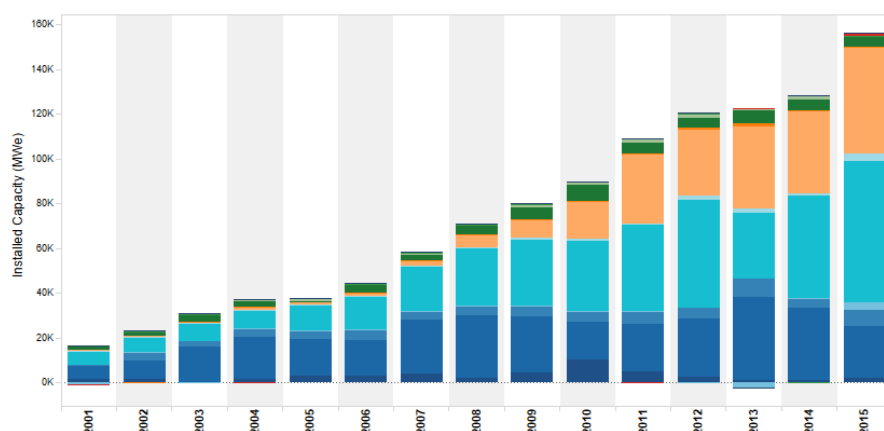
Dentro del contexto tecnológico de transformación del paradigma energético (y eléctrico) basado en el uso de hidrocarburos, se encuentran tendencias como la fabricación y el uso de equipos más eficientes en el consumo energético para el consumo y la producción, esquemas procedurales más eficientes energéticamente, la sustitución de los hidrocarburos en favor de fuentes renovables como materia prima para acción de un proceso energético o la generación eléctrica, los modelos descentralizados de generación eléctrica, y el uso de recursos energéticos disponibles *in situ* para diversos establecimientos humanos como centros productivos y localidades rurales.

La propuesta estudiada en este trabajo se centra en la electricidad de energías renovables y a su capacidad de generarse en distintas escalas, ya sea en grandes parques generadores que reúnen cientos de dispositivos conectados en un mismo punto geográfico con el fin de alimentar grandes sistemas productivos o comunidades; la electricidad con base en renovables también puede producirse en esquemas pequeños gracias a la capacidad modular y las distintas escalas de generación de los dispositivos como el caso de los paneles fotovoltaicos.

### Tendencias del desarrollo de las energías renovables y la energía fotovoltaica en el mundo

Las tasas de crecimiento de las tecnologías renovables en el mundo son mayores a los del crecimiento de los hidrocarburos. El porcentaje de representatividad en la generación eléctrica a nivel mundial fue de 24%<sup>8</sup> para 2016, en 1990, ese porcentaje era de 19.36%, sin embargo, en este periodo de 17 años, los últimos han crecido a mayores tasas, ya que según datos de SEE4ALL, el porcentaje de representatividad de 2014 era de 22.34%; es decir, en dos años hubo un crecimiento de la participación de la electricidad con fuentes renovables de 1.66% frente al 2.8% de los 15 años anteriores. En un periodo de 15 años (1990- 2014), la capacidad instalada de las energías renovables a nivel mundial ha crecido cerca de ocho veces su tamaño, encabezado por la energía hidroeléctrica, eólica y fotovoltaica.

Figura 1. Capacidad instalada por fuente de energía renovable en el mundo. 2001- 2015



Fuente: International Renewable Energy Agency (IRENA), 2017 consultado en <http://resourceirena.irena.org/gateway/>

<sup>8</sup> IEA, 2017

Este desarrollo es consecuente de la cobertura de las tecnologías con base en fuentes renovables sobre necesidades actuales de los sistemas eléctricos, energéticos y ambientales a nivel mundial; junto a este factor, cabe señalar que las tecnologías habilitadoras del uso de las renovables se han incrustado o se siguen desarrollando económicamente en el sistema energético actual, tal es el caso de las baterías, los sistemas informáticos de control automatizado de los equipos eléctricos y otros mecanismos mecánicos que hacen eficiente la captura de los recursos energéticos.

*“As well as having a large potential to mitigate climate change, RE (renewable energy) can provide wider benefits. RE may, if implemented properly, contribute to social and economic development, energy access, a secure energy supply, and reducing negative impacts on the environment and health.” (IPCC, 2012, p. 7)*

La expectativa de la contribución de las energías renovables para mitigar los efectos del cambio climático es muy alta; según datos de IEA (2017), este sector es el que tiene mayor potencial a nivel mundial (35%) para poder avanzar en el proceso de disminución de GEI, por lo que es vital utilizar todos los nichos posibles de generación eléctrica con base en energéticos renovables, pero sin olvidar los aspectos económicos y de necesidad energética que tecnologías como las fotovoltaicas (la cual, se espera que crezca tres veces su tamaño para 2025 respecto a 2016) deben cumplir para las actividades de productores y consumidores.

*“Renewable power is forecast to grow by 36% over 2015-21, making it the fastest-growing source of electricity generation globally. Generation is expected to exceed 7 650 TWh by 2021, but needs to accelerate further and expand by an additional 26% over 2021-25 for renewables to be firmly on track to reach the 2DS target of 10 300 TWh.” (IEA, 2017, p. 26)*

Las regiones más importantes en generación instalada de energías renovables en el mundo son Europa y Eurasia, Sudamérica, Norteamérica y Asia Pacífico, y aunque la tasa de crecimiento es importante, el valor absoluto que las energías renovables representan frente al consumo primario de energía es aún pequeño, cerca del 2.7%, esta situación se replica en las matrices particulares de las regiones. (BP, 2016)

Antes de comenzar a desarrollar las tendencias de la particular energía renovable que estudia este trabajo, es importante señalar algunos aspectos básicos de sus propiedades técnicas y físicas.

La energía proveniente del sol es gigantesca, las familias de reacciones químicas que suceden en su interior mantienen su temperatura alrededor de 6000°C, e irradia cantidades masivas de energía al espacio, de la cual, la tierra captura una constante de 390 W/m<sup>2</sup>. Esta energía cubre 10, 000 veces nuestro consumo de combustibles fósiles a pesar de que la mayoría de esta energía, es decir, 240 W/m<sup>2</sup>, se reflejan de vuelta al espacio. (Ngô, 2008) (Gil, 2008)

El resto de la energía, además de ser aprovechable como calor, luz y electricidad para los sistemas humanos, también es aprovechada por los sistemas bióticos y abióticos del planeta, además de calentar la superficie terrestre y mantener una temperatura promedio de 15°C, esto último, gracias a la capacidad de la atmósfera terrestre de absorber ese calor por el efecto invernadero.

La energía del sol puede ser utilizada de dos formas; a partir del aprovechamiento y transformación de sus propiedades como la luz, el calor y la transformación de la radiación a



energía eléctrica a través de materiales semiconductores. La otra forma de aprovechar la emisión energética solar es indirectamente, dado que ésta incide en los sistemas climáticos de la tierra, las tecnologías que hacen uso de la energía hidráulica, eólica y mareomotriz originalmente, tienen como generador al mismo sol. (Boyle, 2010)

La energía fotovoltaica se genera por la propiedad de los materiales semiconductores (es decir, que ofrecen poca resistencia, pero inhiben al mismo tiempo el flujo eléctrico) como el silicio (principal elemento base de las tecnologías FV comerciales gracias a su abundancia en la corteza terrestre), para capturar la energía de los fotones provenientes de la radiación solar en los electrones del material. Esto provoca que se genere un flujo de energía eléctrica en vez de generarse calor como sucede en otro tipo de materiales.

Si bien, el efecto fotovoltaico fue descubierto en 1839, la primera celda fotovoltaica se fabricó hasta 1914. Esa primera celda producía con una eficiencia de 1% y con uso relacionado a la fotografía; en 1954 se creó la primera celda FV para la generación eléctrica con base en Silicio, actual elemento dominante en las celdas solares. (Ngô, 2008)

Las ventajas del uso de sistemas fotovoltaicos son varios, el uso de una energía casi inagotable, la simplicidad de los sistemas, la modular de los equipos y su fácil transporte, sus nulas emisiones de GEI durante la generación, su dinámica tecnológica constante y veloz que disminuye costos y aumenta su eficiencia, y, por último, su facilidad para incorporarse a la red general. (ONU, 1990)

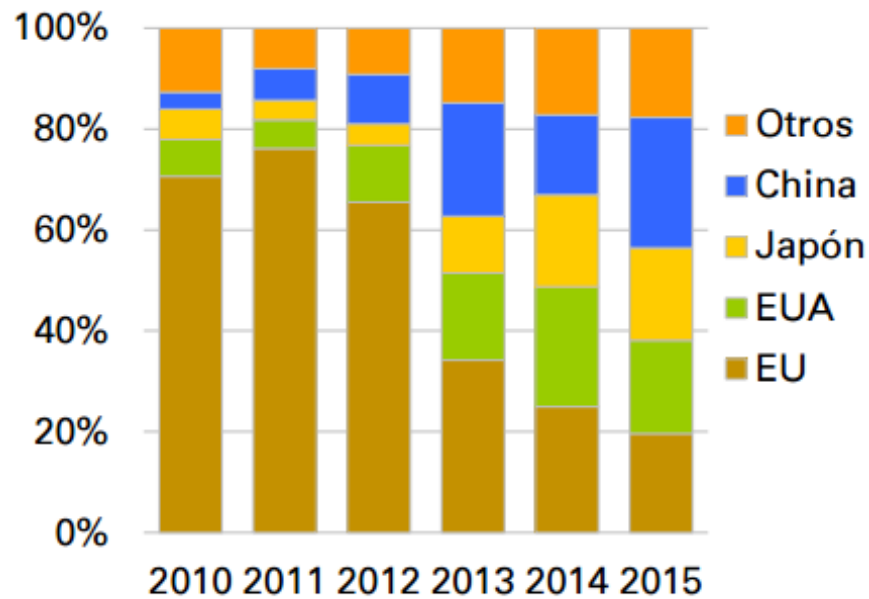
Los sistemas fotovoltaicos han sido utilizados principalmente en sitios independientes a las redes eléctricas centrales, en lugares cuyo difícil acceso aumenta el costo económico de la transmisión y distribución eléctrica. El uso de los sistemas FV en ese contexto se relaciona a las limitaciones de transporte de la red central. Es decir, la tecnología fotovoltaica encontró un nicho en la población marginada geográficamente.

En el contexto actual, las tecnologías con base en la energía fotovoltaica son viables más allá de ese nicho, en escalas y actividades diversas. En el periodo de 2011 a 2015, la caída de los costos de generación promedio de las tecnologías más importantes de generación fotovoltaica pasó de tres dólares por Watt pico a cerca de medio dólar por Watt pico. (IRENA, 2017)

La evolución de la generación fotovoltaica no se limita al costo de transformación eléctrica, sino que ha mejorado aspectos como el tiempo de captación solar, el factor de planta, y las capacidades de generación de los dispositivos. En el año 2015 la tasa de crecimiento de generación de la energía fotovoltaica a nivel mundial fue la mayor reportada de todas las fuentes energéticas renovables con una tasa de 32.6%. (BP, 2016)

En la figura 2 se muestra que la repartición mundial en el crecimiento de la tecnología fotovoltaica comienza a dispersarse entre los países a partir de 2011. En números agregados, la Unión Europea concentraba el mayor uso de la energía solar en el mundo, encabezada por la relevante participación de la industria fotovoltaica de Alemania y con relación a sus políticas de estímulo a este sector; sin embargo, el crecimiento de los últimos años se relaciona a la participación incluyente de nuevos países, es decir, responde a la difusión e implementación de esta fuente energética en las matrices nacionales eléctricas, rompiendo con la tendencia de especialización de solo algunos países.

Figura 2. Participación en el crecimiento en solar a nivel mundial. Principales generadores.



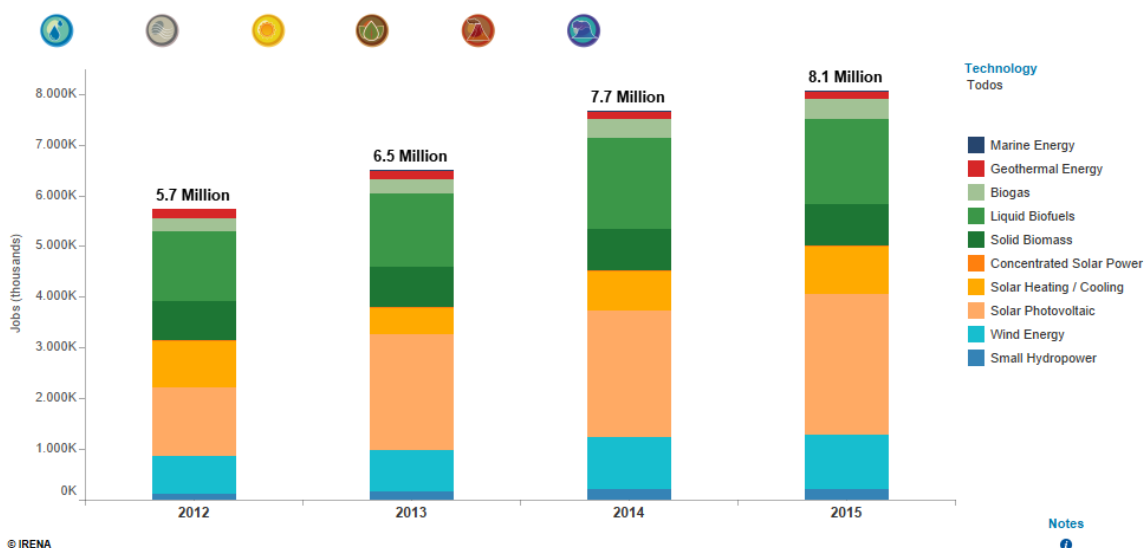
Fuente: British Petroleum (BP), 2016, p. 24

La participación de países no identificados tradicionalmente en el uso de energía fotovoltaica es destacable y tiene como factores la implementación de estrategias energéticas para la diversificación de sus matrices energéticas, búsqueda de una menor dependencia a los hidrocarburos en las próximas décadas, el impulso de una agenda en favor de la sustentabilidad y resiliencia ante el cambio climático, todo esto, fundamentado por la competitividad de los costos de generación de los equipos fotovoltaicos en el presente<sup>9</sup> y en las próximas décadas, ya que se espera que para 2025, los sistemas fotovoltaicos logren los costos más bajos de generación eléctrica en la mayor parte del mundo, de 4 a 6 centavos de euro por kiloWatt hora, y para 2050, se espera que este costo baje a 2- 4 cts/ KWh en las proyecciones más conservadoras. (DVL NG, 2016) (Fürtenwerth, 2015)

Datos recolectados a nivel mundial por la *International Renewable Energy Agency* (2013), señalan que la población con trabajos relacionados a las tecnologías renovables es alrededor de 5.7 millones, y de ellas, 1.60 millones trabajan en energía fotovoltaica, siendo está, la segunda tecnología con mayor empleo entre las renovables, (solo detrás de los biocombustibles).

<sup>9</sup> En Alemania, la generación fotovoltaica de gran escala en 2014 producía electricidad a 9 centavos de euro por kiloWatt. (Fürtenwerth, 2015)

Figura 3. Empleo en el sector de las energías renovables (2012- 2015)



Fuente: International Renewable Energy Agency (IRENA), 2017 consultado en <http://resourceirena.irena.org/gateway/>

La distribución de este empleo por países con mayor población en el sector fotovoltaico son China (300), la Unión Europea (312, siendo Alemania el país con más empleo FV con 88), India (112) y EE. UU. (90). (IRENA, 2013)

En Gari (2011), se identificó una muestra del empleo en el subsector renovable para España, entre los datos más relevantes se encontró que en el subsector existe una gran participación de empresas menores de 1,000 trabajadores (94%), sin embargo, la mayoría de los empleos se concentra en ese 6% de grandes empresas (58% de los empleos). También que en el sector fotovoltaico existe un bajo coeficiente de generación de empleo indirecto relacionado al empleo directo (0.45) en comparación a otras fuentes renovables como el sector eólico (.080) y la biomasa (0.88); sin embargo, por empleo directo tenía la mayor cantidad esperada de crecimiento (33,617).

El empleo en energía FV, es reflejo de la valuación de costos de los dispositivos, la concentración del empleo en FV se concentra en un 95% en actividades previas y durante la venta, es decir, la fabricación, instalación etc., mientras que el empleo operativo y de mantenimiento es de 5%; esta concentración del empleo solo es superada por la energía solar termoeléctrica (96%).

Un último dato en los resultados del estudio de Gari (2011) es que para el caso español se señala la necesidad de aumentar la formación profesional para el subsector renovable, pues actividades como el desarrollo de proyectos (18.3%) e investigación y desarrollo (4.5%) ocupan una cantidad importante de recursos humanos y, con base en las expectativas de crecimiento del sector, no se tendría la oferta necesaria para cubrir esas vacantes.

En el cuadro uno se muestra la cantidad de emisiones de dióxido de carbono de diferentes tecnologías en durante su ciclo de vida, pues a pesar de que su transformación de energía no emita gases contaminantes, en su proceso de producción, bajo el estado del arte del registro de los datos del cuadro, se requería de otras fuentes energéticas que si emiten gases.

Cuadro 1. Emisiones de dióxido de carbono por producción eléctrica (KWh) por diferentes fuentes de energía

Método de producción	Emisiones g/KWh
Carbón	860- 1290
Petróleo	700- 800
Gas	480- 780
Nuclear	4- 18
Viento	11-75
Solar fotovoltaica	30- 280
Biomasa	0- 116

Fuente: Ngô, 2008 p. 21

Relacionado al aspecto ambiental, la energía fotovoltaica tiene una tasa de retorno energética de alrededor de uno a cuatro años considerando las eficiencias de conversión de las láminas de silicio (siendo las tecnologías de película delgada, de 14% de eficiencia con un costo energético de producción de 600 KWh/m<sup>2</sup>, más eficientes que las más tradicionales películas multi cristalinas con 9% de eficiencia y un costo energético de 420 KWh/m<sup>2</sup>)<sup>10</sup>, el material ocupado como soporte y los sistemas de balance. (U.S. Department of Energy 2004)

En el Balance nacional de energía 2015 (SENER a, 2016), se reportó que el factor de planta al que los paneles fotovoltaicos operaban es de 17%, un incremento de 3.6% de lo registrado diez años atrás, y que su periodo de vida útil es de 28 años<sup>11</sup>.

La capacidad modular y las diferentes escalas de tamaño las láminas fotovoltaicas les permiten acoplarse a diversos modelos de generación. La concentración de una gran cantidad de módulos solares permite una gran escala de generación eléctrica, que tiene como fines el abastecimiento de zonas productivas, la venta a la red nacional o la exportación<sup>12</sup>.

Uno de los problemas de los proyectos de gran escala es que requieren de grandes superficies de terreno donde colocar los paneles solares, ya que a pesar de que, en la actualidad, los paneles cuentan con sistemas de direccionamiento automatizado para absorber la mayor energía solar posible, requieren que no exista alguna estructura que bloquee la radiación solar de alcanzar su superficie, incluidas las sombras de otros paneles.

La energía fotovoltaica en pequeña escala no tiene ese problema, a menor capacidad energética, menor el espacio necesario. La propuesta en este trabajo considera el espacio de los espacios urbanos, lugares cuya distribución espacial tiende a concentrar bienes y servicios, al punto en que estos se superponen físicamente unos a otros. La energía FV requiere de espacios en los que se pueda absorber la radiación solar. Por suerte, en muchos inmuebles de las ciudades, los techos son espacios con potencial para captar la energía solar sin problemas.

---

<sup>11</sup> Sin embargo, en el caso presentado por SENER no puede realizarse un ejercicio de tasa de retorno energético, como consecuencia de que se desconocen los valores del costo energético para los paneles que se señalan. En INECC, 2016 se referencia un factor de planta de 23.5% para la energía fotovoltaica.

<sup>12</sup> Actualmente, el *Longyangxia Dam Solar Park* es el parque fotovoltaico con mayor capacidad en el mundo (850 KWh) con una extensión de 300 hectáreas de paneles solares. <https://goo.gl/e5VcGH>

La generación de sistemas FV en pequeña escala permite el desestrés de la red general en horas pico de consumo, el uso más eficiente de recursos y la disminución de combustibles fósiles, las FV disminuyen las pérdidas de energía de los servicios de transmisión y distribución, y resultan flexible a distintos niveles de consumo, es decir, puede alimentan residencias, comercios, espacios rurales e inclusive una parte del consumo energético de las industrias. (Medrano, 2007)

El uso de la energía FV en las ciudades se basa en las estructuras de generación distribuida, es decir, la capacidad de generar electricidad en pequeña escala con base en equipos que buscan cubrir eficientemente las necesidades de los usuarios, sin embargo, pueden conectarse a la red eléctrica general. A diferencia de los casos de los sitios alejados de las líneas de distribución de la red general, los sistemas fotovoltaicos en espacios urbanos no condicionan su inversión a la cobertura de necesidades energéticas frente la ausencia de alternativas en la localidad, sino que su inversión considera aspectos de sustentabilidad, resiliencia frente a fallos en la red o fenómenos naturales, competitividad económica, etc.

Kock (2012) señala que el uso de energías renovables en pequeña y mediana escala aporta nuevos esquemas para la aceleración del uso de energías renovables en la matriz eléctrica mundial que la generación centralizada no puede ofrecer.

La generación centralizada requiere de una gran cantidad de inversión para la producción de la planta o parque y nuevas líneas de transmisión, eso significa recurrir al sistema financiero internacional, el que en muchos casos niega los préstamos por la lenta tasa de retorno de este tipo de proyectos o la incertidumbre en el subsector; además de que el largo periodo de cobertura del préstamo deja vulnerable al proyecto frente a los cambios en tasas de interés.

Otro factor es que la generación centralizada es riesgosa por la cantidad y la estabilidad del nivel de generación, la demanda y los precios del mercado energético e inclusive, por los factores climáticos de la actualidad. Los recursos de este tipo de planta o parque pueden ser subsidiados por el sector público u organismos internacionales, lo que diversifica el riesgo entre los recursos de agentes ajenos al proyecto; sin embargo, los recursos monetarios obtenidos si se privatizan.

La generación distribuida no puede ser un monopolio, cada consumidor es generador de su propia energía, entre más consumidores de esta energía existan, más oferentes hay. A pesar de la existencia de subsidios u otros esquemas de apoyo a los generadores con base en energías renovables, la mayor parte de la inversión en equipos es del mismo consumidor, es decir, la inversión es privada.

La inversión en equipos de generación distribuida ofrece, si la ley lo permite, esquemas de negocio que flexibiliza la cantidad de dinero que aportan los agentes involucrados en la generación. Morse (1997) señala esquemas de generación distribuida en los que las empresas mantienen la propiedad de los sistemas FV y ofrecen la electricidad a los consumidores a precios bajos y ofertan el resto a la red; es decir, la empresa se beneficia de la adquisición de electricidad pública y del consumidor, además del espacio utilizado para la instalación de los equipos; en cambio, el consumidor puede acceder a energía eléctrica barata sin la necesidad de adelantar una gran cantidad de recursos.

La inversión en proyectos de generación distribuida, a nivel mundial, es el segundo componente más importante de los proyectos en energías renovables. Su crecimiento neto entre el periodo 2004- 2015 fue cercano de ocho veces su tamaño inicial, hasta el valor de 67.4 mil millones de dólares. (Frankfurt School- UNEP Centre/ Bloomberg New Energy Finance (2016) *Global Trends in Renewable Energy Investment* citado en IRENA, 2017)

## Políticas nacionales de adopción de energía fotovoltaica para la generación distribuida conectada a la red

En 1978, en los Estados Unidos se estableció la *feed-in tariff* (tarifa de inyección a la red), un mecanismo de estímulo a la adopción de las energías renovables conectadas a la red, la cual considera el establecimiento de contratos de compra de energía eléctrica de los productores que utilizan energías renovables a precios relacionados con el costo de producción de la electricidad en vez de utilizar el precio promedio de mercado. El uso de este mecanismo se propagó por otros países desarrollados en los años noventa, entre los cuales se destaca Alemania, cuya participación líder en energía fotovoltaica, apenas fue superada por China en los últimos años.

El esquema de negocio más utilizado en la actualidad para la generación eléctrica en pequeña escala conectada a la red general es el de medición neta (*net metering*), cuyo proceso consiste en el uso de un medidor bidireccional conectado al sistema eléctrico que evalúa los flujos eléctricos y determina el superávit o déficit en el consumo del usuario del sistema conectado. Es decir, si bien el usuario no siempre puede estar generando la energía suficiente que requiere a partir de su fuente energética (ya sea por la intermitencia o volubilidad de su sistema energético o porque el proyecto se contempló con una menor potencia relacionada al consumo promedio del usuario) a veces el flujo eléctrico generado puede alcanzar mayores valores que los requeridos, y en vez de perderse esa energía, se traslada a la red general.

Las tarifas de compra y venta en este esquema suelen ser diferenciados, ya que el sector público suele aumentar los precios con los que compra la electricidad en caso de que se tenga el interés por incrementar la participación de una tecnología, como en el caso de la fotovoltaica; para identificar la generación eléctrica a partir de la fuente renovable y diferenciar la tarifa se utilizan medidores especiales capaces de hacer esa diferenciación y agrupar y enviar esos datos para su disposición en tiempo real tanto a los usuarios como a las empresas eléctricas. Este esquema se conoce como medición inteligente (*Smart metering*) y se sustenta en el desarrollo tecnológico de las comunicaciones y el internet de las cosas, ya que la información de los medidores no solo se traslada a los centros recolectores de información del sistema eléctrico, sino que se traduce automáticamente a los sistemas informáticos de productores y usuarios<sup>13</sup>.

Las políticas de impulso de las energías renovables en los países que buscan fortalecer su presencia como oferentes en mercados nacionales y mundiales, se caracterizan por agendas de largo plazo que incluyen un portafolio de mecanismos de estímulos para oferentes y demandantes (subsidios, tarifas diferenciadas, depreciaciones aceleradas, participación de

---

<sup>13</sup> Los cuales, la *International Energy Agency* considera como prosumidores, es decir, agentes que cumplen con roles tanto de productor como consumidor en un mismo momento y de un mismo bien o servicio.

institutos y laboratorios con participación pública, etc.) y la paulatina disminución de los porcentajes de estos estímulos y participaciones públicas, pues se considera que el éxito de las políticas deben impulsar la competitividad de los sectores de las energías renovables en plazos establecidos en trabajos de prospectiva<sup>14</sup>.

Considerando la región de Latinoamérica, el modelo más usado de venta energía en esquemas de generación distribuida es el *net metering*, en consecuencia de la facilidad de monitoreo y evaluación de la contabilidad de sus saldos. (Energías renovables, 23/01/2018),

México es el principal país con contratos en esquemas de generación distribuida de la región; sin embargo, el país con crecimientos anuales de contratos más importante es Chile, que a partir de su legislación en 2014 hasta 2017 contabilizó 828 contratos con 5,89 mega Watts de energía bajo esquema de generación distribuida. (Energías renovables, 23/01/2018)

Con base en los resultados del trabajo de la consultora Factor recopilados en la revista electrónica Energías renovables (23/01/2018), se determinaron un par de factores para el crecimiento de la adopción de los modelos de generación distribuida en la región, uno común a los países de la región y un segundo que concierne el caso extraordinario de Chile. El primer factor refiere a la proactividad del eslabón de industrias distribuidoras de la energía en la cadena de este formato de venta eléctrica, eslabón que aún requiere de mejorar su presencia en México a través de los esquemas señalados anteriormente y que funcionarían como intermediario entre el consumidor/generador y el sector público.

El segundo factor, el que concierne al caso chileno, basa el éxito de la adopción de energía fotovoltaica en esquema de generación distribuida al desarrollo de capacidades de gobierno conectado para el monitoreo, reporte y evaluación del consumo de los sistemas energéticos, junto a la facilitación de los procesos burocráticos que los consumidores deben seguir para acceder a los contratos de *net metering*.

Retomando el caso mexicano, a través de la comparación, se recuerda la necesidad de trabajar en el *know how* de las mismas autoridades en el sector público para gestionar los contratos eléctricos y la educación del público potencial del consumo eléctrico por medio de estos modelos para adoptar el consumo.

### Tecnologías habilitadoras del uso de las energías fotovoltaicas para la generación distribuida

La continuidad del desarrollo de las tecnologías fotovoltaicas a futuro puede dividirse en dos factores; la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos al transformar la energía y la eficacia de adopción en los mercados.

La tecnología fotovoltaica, como se ha señalado, tiene la capacidad de poder generar en distintas escalas gracias a la variedad del tamaño de los paneles solares y la capacidad modular de agregar cantidades de potencia energética en el circuito que optimice la cobertura energética requerida.

---

<sup>14</sup> El caso japonés es muestra del decremento de subsidios en paneles fotovoltaicos, de 1994 a 2005 pasó de subsidiar el 50% de los equipos a solo 4%. (Medrano, et al., 2007, p. 2)

Los modelos para la generación distribuida, legalmente bajo los esquemas del sistema eléctrico mexicano, refiere a “fuente de energía distribuida que es interconectada al sistema eléctrico nacional con tensiones menores a 1 kV y en potencias menores o iguales a 30 kW” (CFE, 2017). Estos modelos se basan en las micro redes, las cuales son “redes energéticas localizadas que operan en sincronía con, o independiente de la red principal.” (DNV GL, 2016, p. 31). Es decir, la red de oferta y demanda puede ser conclusiva en sí misma, al mismo tiempo que ofrece la alternativa de alimentar o ser alimentada por la red nacional.

Junto a estos beneficios, las micro redes también se caracterizan:

- *“Ofrecen resiliencia contra ambas, interrupciones físicas y cibernéticas”* (DNV GL, 2016, p. 31).
- *“Las micro redes son una opción para el desarrollo de la energía distribuida y de los dispositivos de almacenaje como las baterías”* (DNV GL, 2016, p. 31).

En *Technology Outlook 2025* (DNV GL, 2016) se señala que los factores impulsores del desarrollo de las micro redes son:

- Uso sustentable de los recursos. - Disminución de pérdidas en la red, uso de recursos locales
- Digitalización. - Incremento de procesos de control y monitoreo en los dispositivos del día a día, que mejoran su rendimiento y la calidad del servicio
- Cambio climático. - Las micro redes proveen recursos eléctricos en caso de interrupciones eléctricas de la red principal originadas por contingencias inesperadas como las provocadas por fenómenos naturales relacionados al cambio climático.
- Medidas políticas y regulación. - Tendencia mundial al fomento de marcos de incentivos para el desarrollo e implementación de micro redes. Desarrollo de esquemas de negocio que involucran inversiones público y privado.

Las tecnologías consideradas como factores para el desarrollo de la implementación de modelos de micro red para la energía fotovoltaica son:

El internet de las cosas, considerado como la capacidad de los objetos físicos de retroalimentar información generada por estos con el internet o con redes locales. Como se ha venido señalando, esto permite mejorar la eficiencia de los procesos eléctricos gracias a que existe una constante interacción de la información generada con los sistemas controladores del flujo y los servicios que actúan de forma inmediata ante el cambio en la generación o necesidad energética del usuario.

El desarrollo del *lab on chip*, que es la integración de un gran número de sistemas que aumenta y mejora la información generada a partir de la acción de los dispositivos. A mejor información, es mejor la calidad de las respuestas de los sistemas controladores de la red eléctrica. En el caso de los sistemas fotovoltaicos, la retroalimentación de los sensores sobre la mejor posición de los paneles respecto a la dirección de la radiación solar, en algunos modelos, permite que el dispositivo se reoriente de manera automática para la captación óptima del sistema.

Desarrollo de sistemas autónomos que permite el monitoreo constante del servicio eléctrico sin la necesidad de personal. No solo es benéfico porque disminuye riesgos de error humano, sino porque en sí mismo significa acelerar la capacidad de respuesta de las redes.



Revolución del software. Tanto en el lado de la oferta como en la demanda. Cada vez más, los paquetes de software realizan tareas más complejas con menores costos.

El desarrollo de plataformas gratuitas mejoradas por la acción de los mismos usuarios permite la rápida estandarización de los procesos de diversos sectores productivos como la generación eléctrica. Al mismo tiempo, el avance del software permite que el hardware (los objetos físicos) realice complejas y autónomas actividades a través de la retroalimentación del sistema y el entorno.

La revolución del software también facilita la participación y monitoreo del consumidor. Traduce los datos captados por el sistema en valores de interés para el consumidor y en formatos y plataformas de fácil acceso para el usuario. Tanto la iniciativa privada como de CFE han desarrollado software para el monitoreo de datos ligados a los medidores eléctricos o a la proyección de estos. Ejemplos de los datos que se pueden consultar son, la generación de los equipos fotovoltaicos, las condiciones climáticas esperadas y las horas de recolección de energía, el consumo eléctrico y los cálculos de balance de energía consumida de la red nacional, entre otros, y que son accesibles para todo público desde las tiendas de aplicaciones.

El aumento en el uso eficiente de la energía eléctrica en equipos electrónicos. Este aspecto aumenta el espectro de consumidores de sistemas fotovoltaicos pues disminuye el consumo propio y permite que los usuarios con equipos conectados a la red nacional tengan una mayor cantidad de excedente que ofrecer. En “Primer análisis sobre los beneficios de la generación limpia distribuida y la eficiencia energética en México” (CFE, 2017) se señala que los grupos de usuarios domésticos subsidiados más pobres llegan a tener un mayor consumo eléctrico que los usuarios en estratos más altos como consecuencia de que los usuarios de mayor nivel socioeconómico tienen acceso a electrodomésticos con consumo energético eficiente.

Por último, es importante señalar que en los esquemas de energéticos renovables es vital el desarrollo de las tecnologías de almacenamiento de la energía, ya que sistemas como los fotovoltaicos pueden sufrir de intermitencias o de variaciones en los flujos de generación eléctrica como consecuencia de las variaciones de energía de las fuentes (en este caso, la radiación solar). Los equipos de almacenamiento son parte de la regulación del flujo o suplen completa o parcialmente las cantidades de electricidad que generan los dispositivos transformadores. En 2011, el mix de dispositivos de almacenaje era diverso, sin embargo, la tendencia es hacia el uso de baterías con menor uso de materiales; como lo son para el caso contrario, los dispositivos mecánicos; en ese año, la participación de las baterías de ion de litio era alrededor de 40%, para 2015 fue cerca del 70% y para 2025 se espera que sea mayor al 90%.<sup>15</sup>

## Conclusiones del capítulo 1

La energía fotovoltaica tiene un desarrollo tecnológico no tan amplio comparado con otras formas de generación eléctrica como aquellas con base en combustibles fósiles; su participación actual en la matriz mundial es menor al 1%; sin embargo, en la última década ha tenido una gran aceleración en su crecimiento y repercusión en cuestiones como el empleo y el combate contra el cambio climático.

---

<sup>15</sup> IEA, 2017

Los sistemas fotovoltaicos, han alcanzado competitividad de costos de generación en muchas partes del mundo dependiendo de la energía solar que se irradia en esos lugares, y se espera que, para la década de 2020, continúe mejorando estas condiciones al grado de convertirse en la fuente de generación eléctrica más barata. Esta madurez tecnológica junto al aumento de países participantes en la cadena fotovoltaica y a las necesidades ambientales del mundo, son factores explicativos de su crecimiento.

La diferencia de tiempo y velocidad de adopción y madurez en energía fotovoltaica entre países, permite que los adoptantes tardíos, como el caso de México, planteen estrategias con base en proyectos previos, y asumirlos de forma consciente con sus capacidades. Entre estas estrategias están los programas públicos de subsidio a la energía fotovoltaica y las bases de los modelos de negocio basados en la generación de pequeña, mediana y gran escala.

Los formatos de generación eléctrica de pequeña y mediana escala se han beneficiado por el desarrollo de los modelos de energía distribuida, es decir, de la capacidad de conectar la generación eléctrica de un particular de hasta 30 kW a la red general, esto permite mayor certidumbre en la generación y consumo eléctrico; elimina la necesidad de adquirir equipos generadores de respaldo o baterías de almacenamiento, lo que disminuye el costo de los proyectos; permite medir en tiempo real el consumo y la generación; y facilita al sistema responder de forma automática y eficaz ante algún fallo en la red o el equipo generador; etc.

El desarrollo tecnológico actual de los componentes de los sistemas fotovoltaicos y los sistemas de apoyo, sumado al interés mundial de la transformación de nuestros procesos energéticos hacia formatos menos contaminantes, son factores del estímulo y crecimiento reciente y futuro de la generación distribuida fotovoltaica y un *know how* aprovechable para la transición energética mexicana.

## Capítulo 2 La transición energética y la reforma del mercado eléctrico en México

### La liberalización del mercado eléctrico mexicano

La transición energética del sector eléctrico es un proceso histórico amplio que inició con la inclusión de esquemas de participación privada en la década de 1990 en actividades que hasta entonces se consideraban exclusivas del servicio público de energía eléctrica; la importancia de este hecho para el tema del trabajo radica en que la iniciativa privada es el sector que ejerce mayor inversión en proyectos de energías renovables en formatos de generación eléctrica como la generación distribuida de pequeña escala.

Por supuesto, la generación eléctrica con energías renovables en México tiene orígenes anteriores al proceso de liberalización del mercado eléctrico en esquemas como el autoabastecimiento aislado, bombeo de agua, electrificación rural (Torres, s.f.); sin embargo, el perfil de los proyectos posteriores al proceso de liberalización amplía la participación de agentes en el sector, aumenta la tecnología utilizada y plantea nuevos modelos de negocio.

Históricamente el mercado eléctrico mexicano se caracterizó por la concentración de actividades de la cadena productiva en pocos agentes, principalmente del sector público, esto con referencia en el decreto del Código Nacional Eléctrico de 1926 y posteriormente bajo la Ley de Servicio público de energía eléctrica (LSPEE) de 1975 (Guajardo, et al., 2010). Considerando el marco legislativo fortalecedor del liderazgo de la inversión pública en la creación de la infraestructura eléctrica a niveles casi monopólicos (e inclusive monopólicos considerando solo la infraestructura destinada al servicio público), se reconoce que la elección pública es la determinante del paradigma tecnológico del sistema eléctrico en el país.

Bajo esta estructura de participación, los proyectos de generación eléctrica del sector público se concentraron en hidrocarburos y en centrales hidroeléctricas, ya que fue la infraestructura heredada de las empresas eléctricas privadas pioneras en electricidad a finales del siglo xix; posteriormente, con la consolidación de la Comisión Federal de Electricidad como oferente preponderante del energético y su vinculación al uso de las fuentes fósiles extraídas por la bonanza del sector petrolero mexicano, durante la segunda mitad del siglo xx se consolidó el patrón eléctrico con base en los combustibles fósiles (Guajardo, et al., 2010).

Esta misma tendencia se mantiene en la oferta pública eléctrica durante el proceso de reforma caracterizado en este trabajo; sin embargo, los parámetros para considerar esta inversión se basan en criterios de mercado.

#### *“Criterios para la elección de fuentes de generación*

- *CFE tiene entre sus objetivos el generar electricidad al menor costo posible.*
- *Esto implica que continuamente debe evaluar cuáles de las plantas con las que cuenta deben satisfacer la demanda que se presenta en el Sistema Eléctrico Nacional*
- *Las fuentes de energías limpias presentan costos variables muy bajos de generación, sin embargo, requieren de costos de inversión significativos.” (SENER, 2014, pp. 13, 14)*

La trayectoria tecnológica del sector eléctrico privado, a pesar de su menor participación en la generación eléctrica nacional, ha recurrido a más fuentes de energía como consecuencia del

aprovechamiento del espacio geográfico y la disponibilidad de los recursos en los lugares en que ubican sus proyectos.

En sitios rurales, la adopción de sistemas fotovoltaicos está documentada en pequeñas unidades productivas de autoconsumo desde los años ochenta (Quintanilla, 1991); sin embargo, en años recientes, se han desarrollado grandes centros de generación con fuentes renovables vinculados a redes regionales e inclusive con fines de exportación del energético<sup>16</sup>.

Durante la década de los noventa y primera década de los 2000, la generación pública con base en energías renovables represento un porcentaje de generación de alrededor de 3% (sin contar hidroeléctrica) del total generado. En 1994 se construyó el parque eólico de la Venta I en el estado de Oaxaca con una potencia de 1.575 MW al que se sumó el parque de Guerrero Negro en Baja California Sur con 0.6 MW, y las centrales geotérmicas en Baja California (720 MW), Baja California Sur (10MW), Michoacán (190 MW) y Puebla (40 MW) cerraban la participación de energías renovables en la generación pública. También debe reconocerse la participación histórica de la generación hidroeléctrica mayor al 10% de la capacidad total. (CFE, 2007)

Con la entrada de México en el TLCAN en 1994, se comenzó a flexibilizar la posibilidad de participación de oferentes privados en la generación eléctrica a través de los esquemas de generación para el autoabastecimiento y la venta de pequeña producción de capacidades menores a los 30 MW, y la cogeneración de la industrial relacionada a otros procesos energéticos.

*“El marco jurídico fue modificado para permitir la pequeña producción, la cogeneración, la producción independiente y la inversión foránea. Se aprobó también la propiedad privada de las redes de transmisión con fines de autoabastecimiento e intercambios con el extranjero.”* Rodríguez, 2016, p. 38

Mientras que el sector público conservaba la mayor parte de las actividades de la cadena eléctrica; en eslabones como la generación se permitió la participación de la industria privada y esto trajo nuevas metodologías de decisión de proyectos y la incorporación de nuevas tecnologías en servicio de las necesidades de nuevos proyectos.

En la Ciudad de México y la zona centro del país<sup>17</sup>, el servicio eléctrico era cubierto por la paraestatal Luz y Fuerza del Centro. Desde sus orígenes en 1903 como empresa privada hasta su extinción en el año 2009, esta empresa monopolizó casi en su totalidad las actividades de energía eléctrica en la zona centro del país.

En las reformas de la LSPEE en 1997, se especifican las características del autoabastecimiento y cogeneración, de igual importancia se expanden los eslabones de la cadena eléctrica donde los agentes privados tienen presencia al considerar la instalación privada de líneas de distribución y transmisión. Este aumento en la participación privada en el sector eléctrico fomentó las compras del sector público de energía generada por proveedores independientes

---

<sup>16</sup> En 2015 se exportaron 32.98 petajoules en energía eléctrica, entre EE. UU., Guatemala y Belice. (Sener, 2015)

<sup>17</sup> Distrito Federal, Estado de México, Hidalgo, Morelos, Puebla, Tlaxcala. SENER, 2016.

a través de contratos a largo plazo, y de esquemas como la cogeneración, el autoabastecimiento y la pequeña producción en contratos de corto plazo. (Rodríguez, 2016)

### Marco legislativo para la transición energética y la participación de los sistemas fotovoltaicos de generación distribuida

En las primeras dos décadas de los 2000, los objetivos de la política energética se han ido alineando a objetivos del contexto internacional y esto ha reformado los marcos institucionales del sector eléctrico.

Figura 4. Marco legal de la transición energética

<b>Lineamientos y normas</b>	Lineamientos que establecen los criterios para el otorgamiento de CEL y requisitos para su adquisición	Criterios normativos energías limpias, eficiencia energética, cogeneración eficiente, sistemas de generación limpia distribuida, emisión de gases y compuestos de efecto invernadero	Bases del mercado eléctrico	Acuerdos voluntarios para reducir la intensidad energética en sectores productivos con consumos significativos				
<b>Programas</b>	Programa sectorial de energía	Programa nacional para el aprovechamiento sustentable de la energía	Programa especial de la transición energética					
<b>Estrategias</b>	Estrategia nacional de cambio climático		Estrategia de transición para promover el uso de tecnologías y combustibles más limpios					
<b>Planes</b>	Plan Nacional de Desarrollo							
<b>Reglamentos</b>			Reglamento de la Ley de la industria eléctrica	Reglamento de la Ley de la Comisión Federal de electricidad	Reglamento de la Ley de Transición energética	Reglamento de la Ley de energía geotérmica	Reglamento de la Ley de promoción y desarrollo de los bioenergéticos	
<b>Leyes</b>	Ley de planeación	Ley de órganos reguladores coordinados en materia eléctrica	Ley general de cambio climático	Ley de la industria eléctrica	Ley de la Comisión Federal de electricidad	Ley de Transición energética	Ley de energía geotérmica	Ley de promoción y desarrollo de los bioenergéticos
<b>Constitución Política de los EE. UU. Mexicanos</b>	Artículos 4°, 25°, 27° y 28°							

Fuente Sener b (2016) Estrategia de Transición para promover el uso de tecnologías y combustibles más limpios

Durante estas décadas, los objetivos de la política en el sector eléctrico se dirigen a la certidumbre y fortalecimiento de un marco regulatorio para establecer un mercado eléctrico competitivo, liberalizado y eficiente, en el que se expandan los modelos de operación y eslabones productivos verticales en los que la participación de productores privados puede actuar en competencia con CFE, la cual, pierde referencia en el mercado eléctrico y la determinación de la ruta tecnológica, pues se busca que se considere como otro participante más, si quiera en cuestión de generación y venta mayorista.

Ejemplo de esta iniciativa, es que, en materia de prospectiva eléctrica y planeación, las actividades más importantes se concentran en la Secretaría de Energía, el cambio más trascendental es la elaboración del Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional, PRODESEN (2015), en sustitución del Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico POISE (2014), que dependía de CFE.

Durante el proceso de venta de empresas paraestatales mexicanas de la década de los noventa, las empresas que se mantuvieron bajo el control del sector público modificaron su perfil de cobertura de servicio público hacia el de oferta del servicio con enfoque a la competitividad y eficiencia del servicio y parametrizando indicadores con esta misión. La Comisión Federal de

Electricidad, poco a poco ha percibido este cambio en el que la denominación de empresa paraestatal a empresa productiva del Estado<sup>18</sup> ha traído consigo objetivos en concordancia a la reforma del sector energético.

En el aspecto legislativo, el cambio más importante es que la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica de 1975 es abrogada en 2014 en favor de un cuerpo extenso de leyes que cubren aspectos particulares del sector eléctrico, la ley central de esta reestructura puede ser considerada la Ley de la Industria Eléctrica, la cual fue promulgada el mismo año, y en la que se refleja la transición del modelo de servicio centralizado por las empresas paraestatales de electricidad<sup>19</sup> a un modelo de fomento a la libre competencia entre agentes públicos y privados<sup>20</sup>.

En el mismo rubro, se implementa la Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios (2016), con base en la Ley de Transición Energética (2015), la cual busca la transformación de la oferta en el sector eléctrico con objeto de responder a los retos medioambientales reconocidos y asumidos por el gobierno mexicano. Esta estrategia consiste en dos partes, el aumento en la eficiencia de las distintas etapas de la producción eléctrica; la generación eléctrica a través de procesos más eficientes<sup>21</sup> y la eliminación o reacondicionamiento de las centrales eléctricas; la transmisión y distribución, actualizando las líneas en esta etapa de transporte para mejorar la calidad del servicio y suprimir las pérdidas; y en el consumo a través de la regulación y certificación de bienes de consumo más eficientes, además de la instalación de medidores más exactos.

En segundo lugar, la estrategia menciona el uso de energéticos renovables en la matriz eléctrica. Señalado en la derogada Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE) y en la actual Ley de Transición Energética (LTE), en su artículo tercero transitorio, se especifica que la participación de las energías renovables para la generación eléctrica debe aumentar hasta el porcentaje representativo de 35% para el año 2024<sup>22</sup>.

---

<sup>18</sup> Denominada así desde 2013 [http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/1\\_AcercadeCFE/MarcoLegalNormativo/Lists/Leyes1/Attachments/24/Leyde lacomisionfederaldeelectricidad.pdf](http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/1_AcercadeCFE/MarcoLegalNormativo/Lists/Leyes1/Attachments/24/Leyde lacomisionfederaldeelectricidad.pdf)

<sup>19</sup> Siendo CFE la única empresa encargada de este servicio actualmente y cuyo régimen jurídico ha pasado de “empresa paraestatal” a “empresa productiva del Estado”, régimen en cuya visión se incorpora un aspecto de eficiencia y rentabilidad.

<sup>20</sup> Por un lado, se liberalizan entre privados la generación y la comercialización, mientras que, aunque la transmisión y la distribución permiten la actividad privada en infraestructura bajo contrato con el servicio público, estas actividades se consideran exclusivas del Estado, (exceptuando el autoabasto y la exportación; abasto aislado).

El mercado mayorista de energía refiere a la capacidad de las centrales eléctricas privadas de vender la electricidad producida a la red de transmisión general a través de contratos de interconexión spot (corto plazo) y de cobertura (largo plazo). Al considerarse que el servicio de electricidad debe cumplir con estándares de eficiencia, calidad, confiabilidad, continuidad, seguridad y sustentabilidad; la ley hace explícitas, ventajas para los generadores que cumplan con dichos criterios.

<sup>21</sup> Rodríguez, 2016, señala que la búsqueda por tecnologías más eficientes reestructuró la oferta eléctrica mexicana desde los años noventa al actual patrón eléctrico preponderante en el gas natural de ciclo combinado (35% para mayo de 2017 según datos del Sistema de información energética).

<sup>22</sup> 25% para 2018, 30% para 2020, 40% para 2035 y 50% para 2050

La sustentabilidad, al ser uno de los criterios centrales de la transformación eléctrica, trae consigo un cuerpo legislativo y normativo particular; la Ley de Transición energética (LTE), entre otros aspectos, señala la necesidad de aumentar la participación de las energías renovables a un 35% en la generación eléctrica. Sumado a esto, señala el interés de implementar instrumentos de estímulo financiero como el caso de los Certificados de energía limpia, y las subastas de potencia exclusiva para la generación con estas fuentes energéticas.

Figura 5. Principales objetivos de la Ley de Transición energética



Fuente: Secretaría de energía, 2016, Prospectiva del sector eléctrico 2016- 2030

El Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (PRODESEN) emitido por la Secretaría de Energía, en sustitución del Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico (POISE) el cual publicaba la CFE, resulta un salto cuantitativo en la planeación eléctrica respecto a su predecesor en el sentido de que sus objetivos están alineados a las reformas a las leyes antes descritas. Entre estos objetivos están la planeación a quince años del sistema eléctrico nacional, la coordinación y desarrollo del mercado eléctrico, y la diversificación de la matriz eléctrica con amplia participación de energías limpias, entre ellas, las energías renovables.

En este contexto, los sistemas fotovoltaicos para la generación distribuida se ven beneficiados por el marco jurídico en dos niveles. Por un lado, existe una estrategia genérica que busca el fortalecimiento de la participación de los energéticos renovables en la matriz eléctrica, y por otra parte se estructuran leyes, normas, y herramientas prácticas para el uso de esquemas de generación distribuida. Cabe recalcar que estos dos marcos superpuestos aprovechan la

participación de los agentes privados de los años noventa, la cual, ahora se vuelve prioridad en la estrategia energética nacional, al grado de que se promulgan la Ley de la industria eléctrica (2014) en sustitución de la LSPEE y las Bases del Mercado eléctrico (2015).

Otros instrumentos jurídicos en favor de los sistemas eléctricos de generación distribuida son, el Programa Especial de la Transición Energética y la Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios (LTE, art. 21), el Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables (PEAER) y herramientas más específicas como, Disposiciones administrativas de carácter general, los modelos de contrato, la metodología de cálculo de contraprestación y las especificaciones técnicas generales, aplicables a las centrales eléctricas de generación distribuida y generación limpia distribuida, Bases del Mercado, Manual de Interconexión de Centrales de Generación con capacidad menor a 0.5 MW , Lineamientos que establecen los criterios para el otorgamiento de Certificados de Energías Limpias y los requisitos para su adquisición, Disposiciones administrativas de carácter general en materia de verificación e inspección de la industria eléctrica en las áreas de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica.<sup>23</sup>

Dos herramientas conjuntas, creadas o transformadas en el marco de la transición energética, que tienen como función localizar e incentivar la creación de proyectos con base en energías renovables son el Inventario de energías limpias (INEL) y el Atlas de zonas con alto potencial de energías limpias (AZEL). Estos documentos no solo señalan el potencial energético del país en cada tipo de recurso energético, sino que señalan la viabilidad económica, la situación geográfica, y la distancia de las zonas con alto potencial a las líneas de infraestructura eléctrica.

Cuadro 2. Potencial de generación eléctrica con energías limpias en México (GWH), a junio 2015

Recursos	Geotérmica	Hidráulica	Eólica	Solar	Biomasa
Probado	2,355	4,796	19,805	16,351	2,396
Probable	45,207	23,028	-	-	391
Posible	52,013	44,180	87,600	6,500,000	11,485

Fuente: INERE (<https://dgel.energia.gob.mx/inere/>)

Fuente: Programa especial de la transición energética (31/05/2017), consultado en [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5484916&fecha=31/05/2017](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5484916&fecha=31/05/2017)

Otra ventana de oportunidad para la diversificación en esquemas como la generación distribuida es que en el PRODESEN (2015) se señala el paro de la actividad de las centrales eléctricas ineficientes y la inversión de las líneas de transmisión (138,054 mdp) y distribución (111, 945 mdp)<sup>24,25</sup>; estas acciones tienen el objetivo de aumentar la eficiencia del servicio a

<sup>23</sup> Las cuales pueden consultarse en la siguiente liga <https://www.gob.mx/cre/articulos/generacion-distribuida-102284>

<sup>24</sup> Sener (2015) Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional consultado en [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/54139/PRODESEN\\_FINAL\\_INTEGRADO\\_04\\_agosto\\_Indice\\_OK.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/54139/PRODESEN_FINAL_INTEGRADO_04_agosto_Indice_OK.pdf)

<sup>25</sup> Continuando el proceso de competencia de agentes privados en el sector eléctrico, en el Programa especial de la Transición Energética se especifican las modalidades en que los agentes privados pueden suministrar servicios y cuáles son estos, a petición de las empresas productivas del Estado y sus subsidiarias. [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5484916&fecha=31/05/2017](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5484916&fecha=31/05/2017)



través del aumento de la capacidad de planta de las centrales que se conserven, y a la caída del porcentaje de pérdida de electricidad en la red de transmisión.

Implícitamente, estas acciones tienen como consecuencia que, si disminuye la capacidad instalada por el cierre de las centrales ineficientes y al mismo tiempo se fortalecen las líneas de transporte de la energía, entonces una mayor parte de la demanda eléctrica puede ser cubierta a través de la oferta e competencia de participantes grandes y medianos a nivel nacional a través de subastas a largo plazo y contratos para el mercado spot, beneficiados por la inversión en estructura de transporte, y en casos locales en los que se reconoce la falla actual de las líneas de transporte, la cobertura de demanda puede realizarse a través de generadores de pequeña escala<sup>26</sup> económicamente eficientes que requieran menor inversión en esa infraestructura.

En el Programa Especial para Transición Energética (PETE) se señalan estrategias particulares para el fomento de la generación distribuida y la infraestructura que tiene repercusión directa, bajo el segundo objetivo de esta ley, Expandir y modernizar la infraestructura e incrementar la generación distribuida y almacenamiento, señalado en su capítulo tercero, Objetivos, estrategias y líneas de acción.

#### **“Estrategia 2.3 Impulsar a la generación distribuida**

Líneas de acción

**2.3.1** Realizar un estudio que permita establecer tarifas de Generación Distribuida justas, basadas en pruebas estándar que identifiquen costos y beneficios

**2.3.2** Generar estudios que permitan fortalecer metas a mediano y largo plazo específicas para generación distribuida

**2.3.3** Apoyar programas piloto de generación distribuida que mejoren las economías del Estado y genere ahorros para los usuarios

**2.3.4** Establecer la política pública de generación distribuida de mediano y largo plazo”

Fuente: Programa Especial para la Transición Energética (31/05/2017) Diario Oficial de la Federación consultado en [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5484916&fecha=31/05/2017](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5484916&fecha=31/05/2017)

Continuando con la legislación y las herramientas de política particulares a la energía fotovoltaica, se señala la necesidad de implementar normas oficiales mexicanas (NOM) para las certificaciones y estandarización de los productos fotovoltaicos y sus servicios, si bien, la industria en México ha impulsado la implementación de normas mexicanas (NMX)<sup>27</sup> sobre distintos procesos en la cadena, estas no son obligatorias en su cumplimiento.

Los resultados de esta falta de imposición por ley del cumplimiento de estándares de calidad en la industria se han documentado y señalado como; instalación de sistemas fotovoltaicos que no cumple con la cantidad de energía generada proyectada; accidentes domésticos; disparidad del precio de los servicios de instalación; adquisición de equipos con características diferentes a las necesarias a los requerimientos del consumidor o adecuadas para la legislación de interconexión; estos puntos a su vez representan una mala imagen de los sistemas lo que inhibe la disposición a consumir de demandantes que escuchan sobre estas malas experiencias, ya que

---

<sup>26</sup> La actual ineficiencia de las líneas de distribución y transmisión son un punto de gran relevancia para la generación distribuida de sistemas fotovoltaicos; sin embargo, dado que la situación de la Ciudad de México es sobresaliente en este aspecto, tendrá un apartado en el último capítulo del trabajo.

<sup>27</sup> En este enlace se pueden consultar las ocho normas mexicanas vigentes en energía fotovoltaica, las cuales se dividen en características de los paneles y la medición de la energía generada. <http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4386/SEECO/SEECO.htm>

dado el bajo nivel de difusión de la tecnología fotovoltaica, las malas prácticas y resultados no se relacionan con las empresas seleccionadas con el desarrollo de proyecto, sino a las tecnologías con base en energía fotovoltaica de forma genérica. (Autren, s/f), (V. Ramírez, comunicación personal, 22 de marzo de 2017)

El mercado eléctrico mexicano, la participación de las energías renovables y la evolución de la energía fotovoltaica para la generación distribuida

Las nuevas tecnologías y esquemas de generación eléctrica persiguen modificar la composición del balance energético, confrontando sus costos frente a los de procesos de generación estándar para el mercado mexicano, al mismo tiempo, buscan insertarse en nichos de la demanda particulares en los que se ofrecen ventajas no consideradas a través del mecanismo de precios.

Los resultados del anexo estadístico infieren que la transición energética ha tenido mayor éxito en la integración de agentes en el mercado eléctrico que en la participación de energéticos renovables en la matriz eléctrica mexicana. Esto puede deberse al inconcluso desarrollo del marco de leyes e instrumentos para la implementación de modelos de generación renovables, a optar por energéticos que hacen uso de la infraestructura ya instalada, al conocimiento y las capacidades de los recursos del capital y trabajo en la industria eléctrica.

Caracterizando la incursión de agentes en proyectos de energías renovables en el mercado eléctrico nacional, se observa que este está siendo impulsado por el sector privado, el que recurre a una combinación más diversa en energías y modelos de generación, mientras que los proyectos de energías renovables de la CFE se ubican en tecnologías en las que tienen experiencia previa y de forma centralizada, como es el caso del ciclo combinado y la geotermia (419 MW combinados y proyectados durante la segunda subasta de energías limpias).

De los 17 ganadores de la primera subasta de energía limpia por parte de Sener, 12 de los proyectos tienen como base la energía solar y de los 29 ganadores de la segunda. 17 son proyectos solares.

Respecto a los resultados de estas centrales solares, dos fenómenos aparecen cuando se revisan los datos de comparación entre las subastas. Mientras que la primera concentra más capacidad tanto en el agregado como en el promedio, gracias en parte por los dos proyectos de 500 MW ganados por *Sunpower Vega Solar* frente al proyecto solar más grande de la segunda con 300 MW de *FRV*; los precios promedios a los que se adquirirá la energía ofrecida obtenidos en la segunda subasta es casi cuatro dólares menos respecto a los valores de la primera subasta.

## Conclusiones del capítulo 2

El resultado del análisis del marco legislativo a nivel nacional sobre el cual se desarrolla la propuesta de generación eléctrica es, en el panorama más amplio, adecuado para la proliferación de ésta.

Desde la década de los noventa, el marco legislativo del mercado eléctrico ha recibido varias reformas hacia la liberación de la competencia entre empresas públicas y agentes privados,

estas últimas, clasificándose dentro de varias partes de la cadena eléctrica y en distintas escalas de generación.

Entre los objetivos de la liberalización del mercado eléctrico se encuentra el aumento de la eficiencia energética y la sustentabilidad en la cadena, desde las técnicas y recursos para la generación hasta la eficiencia energética de los aparatos de consumo y la maquinaria de las industrias.

Las diferencias en escala de los participantes de la cadena permiten la entrada a la generación distribuida tanto en pequeña como mediana escala, estas tecnologías cuentan con un avance importante en la legislación de sus proyectos. En la actualidad, se han publicado los manuales de interconexión, las contraprestaciones por la generación eléctrica y documentos de valuación de proyectos y beneficios para los consumidores, productores y al Estado respecto a la generación a través de estos sistemas.

Las propuestas de generación distribuida a través de energéticos renovables también se benefician en este marco de explícita intención del Estado por mitigar los efectos dañinos del calentamiento global.

Los sistemas de generación distribuida también aportan en este sentido al depender menos de las líneas de transmisión y distribución eléctricas en el consumo, dado el gasto inherente necesario para estas actividades más la pérdida energética en el proceso por la falta de mantenimiento de las redes y su eficiencia.

Respecto al listado del anexo estadístico de la electricidad y la situación particular de la energía fotovoltaica<sup>28</sup>, se remarcan algunas precisiones.

Primero, existe un superávit de energía generada respecto a la energía vendida; el comercio internacional y su crecimiento no es representativo; el incremento de la generación de los agentes privados, en términos absolutos, superó al incremento de la generación pública en el periodo 2008- 2016 pero este parece enfocarse en la demanda nacional.

Las operaciones de los agentes privados en la generación de infraestructura para generación y distribución eléctrica han aumentado cerca de dos veces en el periodo, en 2015 la inversión de estos agentes representó alrededor de dos terceras partes de la inversión pública. Mientras tanto, el sector público parece no mantener una tendencia clara de crecimiento, ya que creció de 2008- 2011, pero desde 2012-2015 mantiene tasas negativas y en 2016 incrementó en 47.7% respecto al año anterior.

La representatividad de la tecnología solar en el sistema eléctrico es ínfima a pesar del crecimiento absoluto en una proporción de diez veces a su valor inicial en el periodo. Las zonas geográficas con mayor porción en la producción energética con esta fuente son la región norte y el estado de Baja California, mientras que la mayor generación en el año se concentra en el segundo trimestre (abril, mayo y junio).

En los años registrados en el sistema de información energética, la energía fotovoltaica tiene un superávit en la producción respecto a la demanda, y la existente principalmente se ubica en el

---

<sup>28</sup> Continuar la consulta en el anexo estadístico al final del trabajo

sector residencial y comercial. El sector industrial tiene un bajo consumo de esta fuente de energía.

En el próximo capítulo, se analizarán los mecanismos de lo que las leyes y estrategias contemplan para el desarrollo de la propuesta tecnológica, como son, la competencia entre los valores de las contraprestaciones y las tarifas eléctricas, los fondos de incentivo a los proyectos, la eficacia en los trámites para la puesta en marcha de estos proyectos y la legislación relacionada a la adquisición de los equipos y servicios de estos sistemas.

A pesar de estos datos, los estudios de prospectiva energética señalan que el incremento de la generación fotovoltaica se incrementará en gran medida y que el sector privado en distintas modalidades será el que se encargue de esta tendencia, siendo el papel de CFE, marginal.

## Capítulo 3 Las ciudades inteligentes como modelo tecnológico institucional para la incorporación de los sistemas fotovoltaicos en la Ciudad de México

El trabajo, a través de sus capítulos, señala el trayecto de instituciones y marcos de referencia para la prospectiva de adopción de energía fotovoltaica en esquemas de generación distribuida. Mientras que en el primer capítulo se observa la información internacional de los avances tecnológicos en la industria fotovoltaica, el segundo se enfoca en el marco legal nacional de desarrollo de las energías renovables y el estímulo a nuevos modelos de generación eléctrica y competencia. En este tercer capítulo se reduce la comprensión geográfica a la Ciudad de México para observar en detalle los factores que ligan la estructura de la ciudad con la adopción de sistemas fotovoltaicos en la modalidad de generación distribuida.

La propuesta en este capítulo es doble. La primera propuesta busca sintetizar el concepto de ciudad inteligente como un conjunto de elementos particulares cuya adopción integral permite la incorporación de soluciones tecnológicas que cubren aspectos y objetivos generados por el mismo marco referencial; es decir, mostrar que la ciudad inteligente cubre necesidades específicas a través de tecnologías con esas mismas características o bien, las prioriza frente a otras tecnologías ya existentes.

Esta primera propuesta del capítulo se divide en dos partes, primero se señalan los aspectos más abstractos de lo que teóricamente se considera como ciudad inteligente y sus características distintivas como marco tecnológico e institucional. La segunda parte, refiere a las consideraciones de dicho marco sobre el mercado eléctrico de la CDMX.

La segunda propuesta del capítulo se enfoca en los métodos concretos de difusión de la tecnología fotovoltaica para la generación distribuida. En esta sección, con base en la clasificación de elementos propuestos por nuestro marco referente, se analiza la capacidad de adopción de los sistemas FV en la Ciudad de México, identificando sus recursos, promotores y obstáculos. Al final, se señalan estrategias de adopción coherentes con los elementos encontrados.

Las Ciudades inteligentes, caracterización y relevancia para la adopción de sistemas fotovoltaicos para la generación distribuida

*"...más de la mitad de la población del planeta (54,6% o 3.600 millones de personas) vive en ciudades. Además, según este estudio, para 2050 el 70% de la población mundial (más de 6.000 millones)"* (Bouskela, et al. 2016, p.12)

La cita con la que abre este capítulo sintetiza la preocupación e interés de este trabajo por cómo se generan y se generarán las propuestas de selección de producción, servicios y consumo en las ciudades. Si bien, el fenómeno de la concentración poblacional no es nuevo y de hecho, se intensificó desde inicios de la década del siglo xx y ha sido estudiado desde perspectivas tan diversas como la estadística, la geografía política y natural, la economía y la geopolítica, entre

otras, la explícita búsqueda de transformación de las actividades humanas bajo parámetros no solo de eficiencia, sino sustentabilidad, resiliencia y desarrollo social que han caracterizado las últimas décadas de la política global, remite a la revisión de los modelos estructurales de los territorios que hoy concentran la mayoría de las actividades y población humanas.

Las ciudades de América Latina y el Caribe concentran alrededor del 80% de sus poblaciones nacionales, siendo la segunda región con más concentración poblacional en el mundo, otro hecho relevante de esta situación es que, en 1950, su población urbana era solo del 42% (Bouskela, et al., 2016), es decir, el crecimiento en la segunda mitad del siglo xx representa la mitad de la concentración poblacional. Esto a su vez, significa retos importantes en la satisfacción de necesidades, además de poner en riesgo los sistemas ambientales de los territorios.

Las ciudades se originan bajo la necesidad humana de concentrar productos y servicios que satisfagan las necesidades de los individuos y la comunidad. Estas necesidades son variadas, complejas e identitarias. Entre ellas se encuentran, seguridad, concentración política, salud, educación, vivienda, alimentos, transportes, drenaje, pero también la electrificación y en general, la energía, y los servicios informáticos y de comunicación, entre otros.

Mientras que las primeras necesidades señaladas pueden rastrearse desde distintos y viejos estadios de estructuras de formación de territorios, las segundas toman lugar temporal en épocas más cercanas y ligadas al desarrollo humano moderno, relacionadas con las ciudades bajo el sistema capitalista.

La diferenciación de las ciudades inteligentes en contraste con modelos de desarrollo de ciudad previos, se encuentra enmarcado en su contexto histórico, en las particularidades de las necesidades de las comunidades, en las propuestas de cobertura de estas necesidades, en la integración económica mundial y en la capacidad tecnológica de acumular, decodificar y analizar una masiva cantidad de datos que definen la planificación de acción y respuesta sobre los otros aspectos señalados; es decir, actuar conforme a una *inteligencia compartida*.

En García et al. (2007) se sintetiza el pensamiento de Marina (1993) sobre lo que significa la inteligencia humana no solo como capacidad psíquica sino como estructuración del pensamiento con mira de alcanzar objetivos y como esta cualidad trasciende de lo individual a lo colectivo;

- Racional
- Emocional
- Adaptativa
- Constructiva

García et al. (2007) señalan que la inteligencia es una capacidad humana que determina la acción a través de la acumulación de conocimientos sobre su entorno con base en su relación con esta y la información que procesa. Sin embargo, la inteligencia no se limita a la respuesta ante el medio, sino que la inteligencia propone y transforma sobre su entorno. De estas ideas, sucede la idea de que las necesidades humanas son ilimitadas, porque bajo el esquema de inteligencia, las personas no solo se adaptan y resuelven lo inmediato, sino que construyen aquello que satisfaga aún, lo que no se requiere inmediatamente o que no se relacione con el medio natural, sino con lo humano y las relaciones que establece con su comunidad.

Las nuevas necesidades surgidas por los logros comunales se vuelven cada vez más complejas, y las satisfacciones de estas de igual manera. Si bien una persona puede ser inteligente bajo la concepción psíquica de solución de problemas, esta acumulación de conocimientos y habilidades no ha surgido de la nada sino del entorno físico y humano en el que se desarrolló, al mismo tiempo, esas necesidades solo se cubren gracias al producto de la satisfacción previa de otros individuos<sup>29</sup>.

El concepto de ciudad inteligente aparece en la década de los 90 en consecuencia del desarrollo y la innovación en las tecnologías de la información y la comunicación. La capacidad de generar y transmitir información en cortos lapsos de tiempo permite estructurar redes de colaboración que mejoran las respuestas ante las necesidades de la actividad humana.

Fernández (2015) señala que el concepto de ciudades inteligentes está aún en desarrollo y que existe un gran escepticismo desde el urbanismo a este concepto, ya que para muchos, este se limita a la incorporación indiscriminada de tecnología en la planeación urbana, lo que considera beneficios particulares a grupos de poder, vulnera la privacidad de las personas, ignora las tasas de retorno de las inversiones de la nueva infraestructura, propone métricas ineficientes para evaluar el impacto de las soluciones, entre otros.

Fernández continúa señalando que, en la planeación urbana, las soluciones elegidas deben considerar que, aunque las ciudades son catalizadores de la actividad gracias a que reúne una gran cantidad de recursos y facilita el intercambio, al mismo tiempo genera confrontación por los recursos y marginación hacia los grupos sociales que no se adaptan a las estructuras más comunes de la ciudad; por ello, señala que tres elementos intrínsecos en esta dinámica de planeación deben ser tomados en cuenta:

---

<sup>29</sup>García García et al. (2007) señala que el grado de dependencia y relación entre individuo y comunidad llega al nivel en que la satisfacción de necesidades de un individuo solo se logra a través de otro u otros individuos a través de la acción mancomunada. Dado que la inteligencia, bajo la concepción estudiada se rige por parámetros racionales, pero también de emocionales, la capacidad de relacionarse personalmente como parte de una familia, un equipo o una comunidad, también son señas de inteligencia pues satisfacen la necesidad de equilibrio emocional en el individuo.

La complejidad; la ciudad es un sistema, y como tal, es la aglomeración de un gran número de elementos organizados por comportamientos no lineales, pero capaces de adaptarse a su entorno y transformarlo a su beneficio.

La diversidad es la segunda característica de las ciudades; esta no solo refiere a las diferenciaciones geográficas sino a las de funciones, en una ciudad conviven diferentes actividades económicas, distritos especializados en funciones y tipos de población y relaciones con intereses y capacidades de imponer sus objetivos sobre el resto de la población.

Por último, la incertidumbre es un factor para la determinación de factibilidad y eficacia de las propuestas sobre la ciudad; entre más amplia es la proyección temporal y geográfica, es más difícil de cerciorar el éxito de la medida dada la complejidad y diversidad que supone el sistema; sin embargo, esto es preferible ya que trabajar en medidas de corto plazo puede traer consigo resultados dañinos en el largo plazo. Contemplar periodicidades amplias no garantiza la sustentabilidad de los proyectos, sin embargo, permite trazar herramientas que permitan compara la senda que seguimos a la que esperábamos en un principio y rectificar.

Como se observa, el desarrollo de una propuesta de acción en búsqueda de objetivos bajo el marco de ciudad inteligente es más complejo que la incorporación de tecnología, y más si consideramos la propuesta de García (2007) en que la inteligencia de la ciudad obligatoriamente incluye el reconocimiento y la validación de los tres planos traslapados que la constituyen, es decir, su infraestructura, poder político y la población en su conjunto. Al mismo tiempo, este autor menciona que la propuesta de la ciudad inteligente debe buscar la conciliación de la polarización que caracteriza al sistema ciudad.

Bajo la cautela proporcionada por las premisas previas, entonces, se señalarán los aspectos tecnológicos a tomar en cuenta en el modelo de ciudad inteligente.

La incorporación de las TIC en los procesos productivos ha permitido generar una gran cantidad de información útil para identificar las características de los problemas que se consideran prioridad en el presente. El progreso de la generación, codificación y transmisión de datos en equipos de uso no informático (*Internet of things*) ha permitido pensar en la transformación de la estructura productiva, el uso de recursos e instituciones de industrias cuyos procesos se habían limitado a innovaciones incrementales.

El desarrollo tecnológico de sensores que permiten el monitoreo, el mapeo y el mantenimiento de la actividad que los sistemas realizan en tiempo real, no solo permite analizar la eficiencia de estos, sino que propone nuevos temas concernientes a la elección de la tecnología para la producción. En el caso de la propuesta, la eficiencia energética, la cuantificación de contaminación por proceso y desecho, la resiliencia frente a desastres naturales, la viabilidad



de implementación bajo las estructuras específicas de los subsistemas de la ciudad, etc.

*Una Ciudad Inteligente y sostenible es una ciudad innovadora que utiliza las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) y otros medios para mejorar la toma de decisiones, la eficiencia de las operaciones, la prestación de los servicios urbanos y su competitividad... resulta atractiva para los ciudadanos, empresarios y trabajadores, pues genera un espacio más seguro, con mejores servicios y con un ambiente de innovación que incentiva soluciones creativas, genera empleos y reduce las desigualdades. De esa manera, las Ciudades Inteligentes promueven un ciclo virtuoso que produce no solo bienestar económico y social, sino también el uso sostenible de sus recursos con miras a elevar la calidad de vida a largo plazo.*

Bouskela, et al., 2016, p. 14

Bouskela, et al., (2016), también mencionan que son cuatro tipos de tecnología necesarios para la aplicación efectiva de propuestas bajo el esquema de ciudad inteligente las cuales son; interfaces de comunicación por las cuales enviar y recibir la información generada por los sistemas y que esta sea accesible por los diversos agentes involucrados en los productos y servicios; los centros integrados de operación y control, los cuales no solo reciben información y la distribuyen sino que la procesan en favor de las necesidades de los agentes, es decir, codifican la información para el uso útil de distintas necesidades; sensores y dispositivos conectados, que son los elementos ligados directamente a los productos y procesos originarios de los datos creados y también los sensores ligados al medio ambiente u otros subsistemas que tienen incidencia en el primer proceso. El último elemento es la infraestructura de conectividad, es decir, los sistemas de internet de banda ancha por los cuales se pueda transmitir la información en el menor tiempo posible.

Para Fernández (2015), la ciudad inteligente está compuesta por diversos subsistemas y la información que genera en estos se comparte entre ellos pues considera que la integración de la información responde a la interacción e inseparabilidad de los subsistemas. Es decir, difícilmente un subsistema puede entenderse de manera aislada del resto, ya que estos lo determinan y se determinan así mismos a través de sus interacciones. Por ello, en su caracterización de las ciudades inteligentes, el nivel más avanzado de éstas utiliza estrategias sistemáticas que consideran como factor sus repercusiones en el resto.

## Elementos para la adopción de sistemas fotovoltaicos para la generación distribuida en la Ciudad de México

La Ciudad de México es desde 2017 el 32° estado de los Estados Unidos Mexicanos, en ella se concentran los poderes políticos, una gran parte de la población (53,2%), el producto (16.8%) y el consumo eléctrico (6.89%).<sup>30</sup> La capital del país es motor del desarrollo y pionera de innovaciones económicas y sociales.

Durante los primeros años de servicio eléctrico en el país, este dependía de empresas extranjeras como The Mexican Light & Power Company, la cual ofrecía el servicio en la ciudad de México y estados cercanos como Michoacán, Estado de México, Puebla e Hidalgo. La inversión extranjera en esta empresa duró desde 1898 hasta su nacionalización en 1960, cuando también cambió de nombre a Luz y Fuerza del Centro. En 1914, gracias a la incorporación de un gran número de trabajadores mexicanos en la empresa, se consolidó el Sindicato mexicano de electricistas, un grupo de poder importante que se impondría en la ejecución de las actividades de la paraestatal.

La historia de LyFC a partir de su nacionalización, estuvo repleta de intensos choques políticos entre gobierno, sindicato y población. Desde 1974 se buscaba desde el gobierno federal liquidar la empresa y consolidarla dentro del esquema CFE; sin embargo, el contrapeso político del SME reiteradamente bloqueó esa posibilidad.

Hasta 2009, la cadena del suministro eléctrico estuvo bajo el monopolio de esta paraestatal en la región centro y fue esta la que definió la trayectoria tecnológica de generación, transmisión y distribución del servicio.

Los datos que se tienen sobre la cadena del servicio muestran que las pérdidas de energía eléctrica en el valle de México, para 2015 eran de 23.31%, para 2009, año de desaparición de LyFC, fueron de 30.83%, mientras que, a nivel nacional, excluyendo la región, para 2009 fueron de 12.46% y en 2015 se redujeron a 10.89%. (Sener b, 2016)

El tiempo de interrupción por usuario (TIU) frente alguna falla en el servicio eléctrico para 2015 fue de 35.8 minutos en interior de la república, mientras que para el valle de México fue de 40.82 minutos.

En 2015, los estados de la región central del servicio eléctrico CDMX, Edo. México y Morelos tuvieron un déficit de energía eléctrica entre ventas de energía eléctrica y generación eléctrica de 0.96, 0.67 y 0.99 respectivamente y fuera del rango de balance de 0.2% marcado en el PRODESEN. (Sener d, 2016, p.23)

Con la transferencia de responsabilidades de LyFC a CFE, la atención de esta empresa pública a la infraestructura eléctrica se orientó al mantenimiento o la actualización de eslabones del servicio como redes de transmisión y distribución, y la atención al consumidor respecto al servicio. Las reformas para permitir, fortalecer y establecer los marcos de negocio para la participación de agentes privados son el elemento dirigido a la transformación de la canasta de fuentes energéticas del sistema eléctrico.

---

<sup>30</sup> Con datos de BIE- INEGI y SIE para el año 2015

Cuadro 3 Mercado eléctrico de la Ciudad de México

CDMX		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Capacidad	MW	308	224	1,563.80	266	266	266	266
Generación	MWh	653,896.44	856,555.33	945,071.63	798,485.35	396,584.25	719,886.22	570,046.01
Ventas internas	MWh	13,287,271.68	13,667,110.20	14,129,238.63	14,563,014.88	14,300,637.12	14,464,264.21	14,500,022.61
Usuarios		2,771,278.00	2,831,637.00	2,878,230.00	2,936,948.00	2,998,344.00	3,044,484.00	3,109,392.00

Fuente Elaboración propia con datos del Sistema de información energética <http://sie.energia.gob.mx>

El mercado eléctrico de la CDMX tiene una generación menor a las ventas de energía anuales, como se había mencionado previamente, este déficit es generalizado a la región central. Esto no es en sí un problema considerando que la electricidad es un tipo de energía de fácil transporte; sin embargo, la problemática se observa relacionando ese déficit con los valores mostrados previamente de pérdida en el transporte eléctrico y el tiempo de interrupción por usuario señalados, superiores a los del resto de regiones del país.

La generación propuesta por el trabajo representa una parte de la solución a estos problemas energéticos gracias a su capacidad de consumo *in situ*. Mientras que para los consumidores se traduce en eficacia y certidumbre del flujo eléctrico consumido, para el sector público representa una cadena más eficiente, menor nivel de pérdidas y menor déficit en la entidad federativa y la región; en el largo plazo, si prolifera este tipo de sistemas locales, puede provocar el ahorro de recursos destinados a la creación de infraestructura en líneas de transmisión y distribución<sup>31</sup>.

Sobre este tópico de transporte de la energía, bajo la metodología del Atlas de zonas con energías limpias (Sener, 2017), se notó que en dos alcaldías de la CDMX existen problemas para acoplarse a la red general, Milpa Alta y Tláhuac; referenciando este dato con las estimaciones del cuadro 4 y la figura 10, la generación fotovoltaica en proyectos de distintas escalas puede ser un modelo de desarrollo eléctrico de ambas alcaldías.

Si bien, este formato de generación fotovoltaica no es el que se plantea en este trabajo, permite observar la formación de la oferta FV en la localidad. La generación proyectada en el AZEL (2017) señala que, si se utilizara completamente la zona potencial de Milpa Alta y Tláhuac para la generación en el escenario con mayor participación de renovables en la matriz eléctrica mexicana representaría cerca de la octava parte de la generación fotovoltaica probada<sup>32</sup> en el AZEL de 2015 para todo México:

<sup>31</sup> En el estado de California, en EE.UU., el uso de energía distribuida y otros proyectos energéticos para reducir la huella de carbono en el estado ha permitido cancelar proyectos de transmisión cuya suma total era de alrededor de 192 millones de dólares. El documento donde se señala dicha decisión puede consultarse en <https://www.caiso.com/Documents/Board-Approved2015-2016TransmissionPlan.pdf>

<sup>32</sup> Sin embargo, es necesario decir que la zona señalada por el escenario 1, es la generación potencial y no probada, es decir, carece de estudios de las especificaciones topológicas y económicas de la zona. Si la comparación se realizara respecto al potencial de generación de todo México, correspondería a un valor cercano al 0.1%. Ver Cuadro 2.

Cuadro 4 Zonas con potencial para la generación fotovoltaica en la Ciudad de México (escenario 1 AZEL)

Energía	Tláhuac		Milpa alta		Total	
	Fija	seguimiento	Fija	seguimiento	Fija	seguimiento
Tipo	Fija	seguimiento	Fija	seguimiento	Fija	seguimiento
Área (m2)	4,208,140	4,208,140	5,167,290	5,167,290	9,375,430	4,208,140
Factor de planta %	21	27	20	-	20- 21	27
Capacidad (MW)	301	197	371	-	672	197
Generación (GWh/a)	542	471	641	-	1183	471
Emisiones evitadas (Mt/a)	246	214	291	-	537	214

Fuente generación propia con datos de la Secretaría de Energía (2017) Atlas de zonas con energías limpias (AZEL)

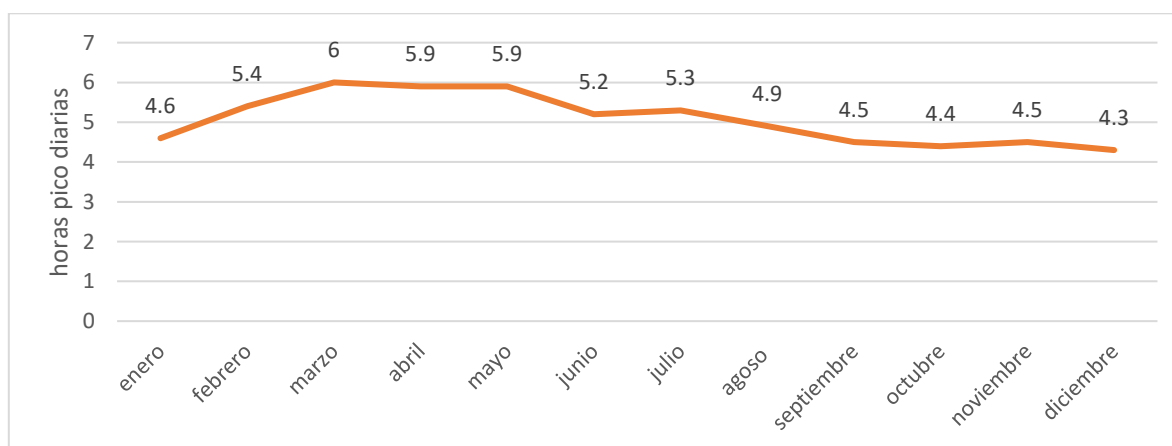
Las características físicas de la CDMX focales para la generación fotovoltaica con base en la metodología del AZEL son, la latitud, la temperatura promedio y el clima.

La latitud de la ciudad es 19,4978 lo que la sitúa en el 5° rango de mayor densidad de radiación para la generación fotovoltaica en el país<sup>33</sup> con una relación de 1.39 ha/MW.

En la mayoría de las 15 delegaciones, la temperatura promedio va de los 14 a los 18 grados centígrados y el clima es templado, aunque la mayor parte de la superficie de Cuajimalpa, Magdalena Contreras, Tlalpan y Milpa Alta tiene temperaturas promedio de 8-14°C y climas semi fríos (Sener, 2017).

Otro punto importante de las características físicas del espacio que ocupa la Ciudad de México son las horas pico diarias que hay al mes, pues son factor del tiempo en el que los sistemas fotovoltaicos están generando electricidad y permite formular escenarios económicos de los consumos propios de energía y el consumo que se requerirá de la red general.

Figura 10 Horas pico al día, **promedio** mensual 1993- 2005



Fuente: Instituto de Geofísica, UNAM [http://www.geofisica.unam.mx/radiacion\\_solar/energia.php?grafica=hp](http://www.geofisica.unam.mx/radiacion_solar/energia.php?grafica=hp)

<sup>33</sup> De 18 rangos posibles según la metodología del AZEL

La introducción de una nueva tecnología en un mercado establecido puede requerir el apoyo de agentes e instituciones que resalten las características que aventajan estas nuevas soluciones frente a los paradigmas establecidos.

Se ha señalado que la introducción de energías renovables en la matriz eléctrica mexicana es una prioridad para el gobierno federal y que existen leyes y proyectos con el fin de dar cumplimiento a este objetivo, al momento de consolidar la estrategia en instrumentos de política puede no cumplirse con el cometido como consecuencia de factores como omisiones o falta de información sobre el mercado, falta de coordinación con los objetivos de los gobiernos locales que son los que en muchas veces ejecutan proyectos en favor las alternativas, una oferta pequeña y con fragmentaciones en la cadena de valor o una población no informada sobre la tecnología, o a pesar de conocerla, no tiene intención de consumirla.

Wünstenhagen (2007), Mallet (2007) entre otros, hacen hincapié en la importancia de valorar la percepción de la sociedad en la incorporación de las tecnologías renovables, pues si bien, muchas veces la idea que se tiene en el plano más abstracto es que la población apoya este tipo de tecnologías por sus ventajas ambientales, a la hora de concretar estrategias de adopción, la población puede oponerse a los proyectos.

Wünstenhagen señala que este problema se ha identificado desde los ochenta en los estudios de Carlman (1984), e identifica la causa en la cercanía física y la participación que implican los proyectos de energía renovable al público consumidor, lo que Wünstenhagen denomina como *Not in my Backyard*. El autor encuentra una función en forma de U que describe la percepción de la población respecto a los proyectos, siendo positiva previo a la construcción, mala durante ella y positiva al recibir sus beneficios. En escalas menores como el caso de la fotovoltaica de pequeña escala, esta percepción negativa está ligada entre otros aspectos, la inversión necesaria y el uso de su espacio para la colocación de los módulos.

Mallet (2007) por su parte, a través de una metodología basada en encuestas y con base en los estudios de caso de Rogers (2005) analizó la aceptación social de calentadores de agua solares en la Ciudad de México tanto en el sector residencial como en la industria. Entre sus hallazgos está la falta de difusión sobre los equipos, poca interacción entre agentes de la cadena, baja disposición a pagar por los sistemas dado el alto costo de inversión inicial y tasas de retorno de hasta cinco años en contraste con la baja capacidad de ahorro de la población y la falta de una normatividad que asegure la operación adecuado de los equipos.

Para el caso de los sistemas fotovoltaicos, estos factores se repiten en la Ciudad de México con base en lo observado por Víctor Florencio Ramírez Cabrera, director ejecutivo de la Asociación Nacional de Energía Solar (V. Ramírez, comunicación personal, 22 de marzo de 2017) a los cuales se suma el desinterés de invertir de los usuarios residenciales con consumo eléctrico subsidiado.

El papel de los gobiernos es importante en la introducción de las tecnologías innovadoras en el mercado, los hándicaps señalados se pueden cubrir a través de la acción coordinada de agentes, pero el gobierno es un eje rector en los esfuerzos que puede ayudar en la conexión entre agentes, facilitador y estimulante de inversión de recursos, proveedor de infraestructura o impulsor de industrias complementarias para las soluciones de ciudad inteligente, como las industrias en TIC, creador y verificador de las reglas del marco institucional del mercado, etc.

Como se señaló previamente, los agentes locales tienen importante injerencia en la toma de esta decisión; por este hecho se propone revisar los elementos de política relevantes al proceso de adopción de la tecnología y el marco de modelo de ciudad empezando por la constitución política de la Ciudad de México, la cual vale la pena mencionar, incorpora objetivos alineados a la Nueva agenda urbana (ONU- Hábitat, 2017) suscritos en Quito en 2016 por el gobierno mexicano a nivel federal:

*“Artículo 15. A. 6. La Ciudad de México será una ciudad con baja huella ecológica, territorialmente eficiente, incluyente, compacta y diversa, ambientalmente sustentable, con espacios y servicios públicos de calidad para todos.”*

Asamblea Constituyente de la Ciudad de México (2017)

En este abstracto se señalan aspectos que conciernen una estrategia como el de generación eléctrica distribuida con base en energía fotovoltaica, ya que como se señaló en los capítulos previos tiene las siguientes características:

1. Baja o nula generación de gases de efecto invernadero,
2. Capacidad modular y reproducción de generación en escala
3. Eficiencia y eficacia en la generación frente a otras fuentes energéticas

Es decir, no solo cumple con los requisitos de mitigación de generación de contaminantes al ambiente propuesto por la ley, sino que es un esquema de generación eléctrica que se acopla a los objetivos del aprovechamiento eficiente del espacio, a la compactación de la ciudad y a la implementación eficiente de servicios<sup>34</sup>.

Son varios los artículos que señalan elementos favorables a la implementación de energías renovables en orden de cumplir los objetivos de la ciudad. En el siguiente cuadro se compilan los artículos que reflejan esa compatibilidad y se señalan los tópicos relevantes.

Cuadro 5 Artículos de la Constitución política de la Ciudad de México con relación a la incorporación de energías renovables

Artículo	Tópicos
Artículo 1.6.2	Huella ecológica y disminución de emisión de gases de efecto invernadero Estructura urbana compacta y vertical Innovación
Artículo 1.6.2.e	Integración de sistemas propios de generación y abasto de energía Incorporación de energías limpias
Artículo 1.7	Sustentabilidad Uso eficiente del territorio Infraestructura, servicios y equipamiento
Artículo 3.2	Desarrollo económico sustentable
Artículo 7	Derechos a la información y a la privacidad
Artículo 8.C	Beneficio tecnológico Incorporación social a las TIC

<sup>34</sup> Cuando se traten los esquemas de negocio para la generación distribuida con sistemas fotovoltaicos se señalarán formas en que se adoptan a servicios públicos como el alambrado o la energización de edificios públicos. Sin embargo, una de las ventajas de los esquemas de GD es la participación de agentes privados con distintas actividades y propósitos en la generación eléctrica.

	Generación, difusión y ejecución de tecnología Incorporación de sectores sociales y productivos a procesos de innovación
Artículo 12	Derecho a la ciudad y su función social
Artículo 13	Ciudad habitable con un medio ambiente sano
Artículo 15.A.6	Baja huella ecológica Territorio eficiente Ambiente sustentable
Artículo 16.A.2	Baja huella ecológica (explícitamente GEI) Modelo de ciudad (compacta y vertical)
Artículo 16.E.2.e	Vivienda sustentable
Artículo 16.F.2.c	Infraestructura para la incorporación de servicios

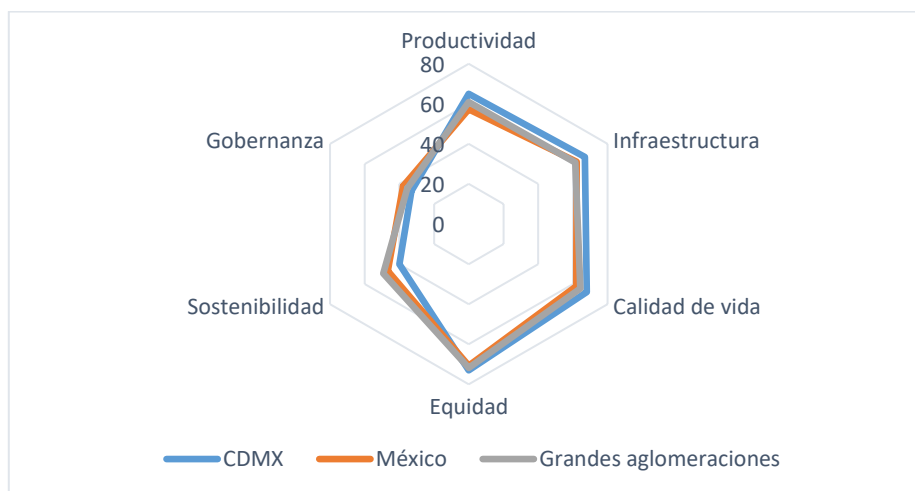
Fuente Elaboración propia con datos de Asamblea Constituyente de la Ciudad de México (2017) Constitución política de la Ciudad de México

Respecto a estos objetivos y líneas de acción explícitas es importante ubicar el punto de partida sobre el que se desarrollaran las propuestas para la ciudad. Los resultados de la evaluación de Ciudad próspera del programa Hábitat de la Organización de las Naciones Unidas, es un buen referente para reconocer el empleo eficiente de recursos en políticas para adoptar las energías renovables, particularmente, los modelos como el propuesto en la Ciudad de México.

Los resultados de este programa se determinan con base en la indexación de una serie de parámetros clasificados en seis categorías correspondientes a apartados que la metodología de la ONU- Hábitat consideran fundamentales para el cumplimiento de los objetivos de ciudad próspera, es decir, una ciudad que provea los recursos y oportunidades suficientes para que los individuos que la habitan puedan desarrollarse íntegramente.

Con base en la medición, el programa propone una serie de estrategias diferenciadas dependiendo de la puntuación obtenida en cada rubro; consolidación de políticas para los factores mejores cubiertos; fortalecimiento de políticas para puntajes intermedios y priorización en los parámetros con peores resultados (ONU- Hábitat, p. 10).

Figura 6 Índice de dimensiones de Ciudad Próspera para México, ciudades con grados aglomeraciones y la Ciudad de México, ONU- Hábitat



Fuente Elaboración propia con datos de la ONU- Hábitat (2016) Índice de las ciudades prósperas en la República Mexicana

A nivel nacional, la sub dimensión energía que se valora con base en el indicador la introducción de tecnologías renovables en sustitución de fuentes fósiles tiene el valor más bajo (15.1) de los resultados obtenidos y ni siquiera considerando solo a las ciudades del rango de más de un millón de habitantes se alcanza el 20% en el indicador.

El contexto presentado por el reporte sugiere la priorización de estrategias para el desarrollo de las energías renovables en la entidad; pues como el texto sugiere, los indicadores con menor valor son los que deben priorizarse, y la propuesta de la generación distribuida con base en la tecnología fotovoltaica puede ser una opción para ello dada la compatibilidad de esta con características de la CDMX.

### Estadísticas de la energía fotovoltaica en esquemas de generación distribuida en México

Los datos de CRE (2017) señalan que el crecimiento de contratos y capacidad instalada de generación distribuida ha crecido en cinco años alrededor de diez veces, concentrándose en capacidades extremas, de 0- 10 kW y en 300- 500kW; bajo esquemas y actividades diferentes.

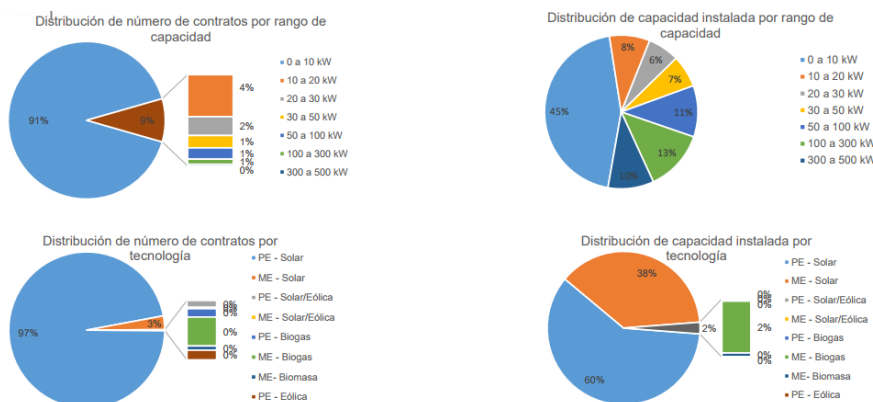
Cuadro 6 Cantidad acumulada de contratos y energía distribuida 2013- 2017

Año	Contratos	Capacidad (kW)
2013	4,613	29,131
2014	9,013	61,876
2015	16,983	117,539
2016	29,560	247,604
2017	40,109	304,109

Fuente Elaboración propia con datos de Comisión Reguladora de Energía (2017) Contratos de interconexión en pequeña y mediana escala

El consumo de sistemas fotovoltaicos para la generación distribuida en las ciudades se enfoca en dos sectores de consumo energético, los usuarios de tarifa doméstica de alto consumo (DAC) y comercial (tarifas dos). La capacidad instalada correspondiente a los esquemas de pequeña generación en estos grupos de tarifas es de 10 kW y en tarifas comerciales hasta 30 kW.

Figura 7 Distribución de contratos y capacidad de la generación distribuida en México hasta el primer semestre de 2017



Fuente CRE (2017) Contratos de interconexión en pequeña y mediana p.7



Cuadro 7 Clasificación de contratos de interconexión por capacidad

Rango de capacidad	0- 10	10- 20	20- 30	30-50	50- 100	100- 300	300- 500
Capacidad kW	124,303	22,843	16,151	14,878	22,540	37,543	65,918
Contratos	36,862	1,574	636	376	324	194	143

Fuente Elaboración propia con datos de Comisión Reguladora de Energía (2017) Contratos de interconexión en pequeña y mediana escala

El mayor número de contratos y capacidad instalada se encuentra en formatos de energía fotovoltaica de pequeña escala, principalmente en uso residencial que en porcentaje de capacidad disminuye su representación dado el tamaño de los proyectos, pero que sigue ubicándose con la mayor parte del total, seguido por 1610 kW instalados en esquemas de generación general donde se ubican los usuarios de tarifas comerciales.

De los 247,606 kW acumulados de capacidad de esquemas de generación distribuida, 124,687 kW corresponden a generación con base en energía solar de pequeña escala mientras que 118,919 kW corresponden a energía solar de mediana escala. Es decir, 243,606 kW de capacidad son con base en energía solar. (CRE, 2017)

Cuadro 8 Capacidad y contratos de generación distribuida por estado en México, 2016

Entidad	Capacidad instalada	Contratos	Capacidad promedio
Estado de México	50,716	906	55.9779249
Nuevo León	36,152	3789	9.54130377
Jalisco	32,899	6778	4.85379168
Michoacán	10,832	1219	8.88597211
CDMX	10,627	1672	6.35586124

Fuente Elaboración propia con datos de CRE (2017) Contratos de interconexión en pequeña y mediana escala

La Ciudad de México es la quinta entidad con mayor capacidad de generación distribuida en el país, la capacidad promedio de los proyectos se encuentran en los valores de consumo de pequeña escala a nivel residencial (0- 10 kW). Dentro del mismo rango de promedio de proyectos resaltan los casos de Nuevo León y Jalisco que triplican la cantidad de consumo de la CDMX. El Estado de México por su parte, parece tener tendencia a la generación de proyectos de mediana escala que pueden acoplarse a proyectos industriales y agrícolas.

En el estudio Mercado de energía fotovoltaica de pequeña escala (2017) financiado por la Asociación de Bancos de México (ABM) se señala que el crecimiento de 2013 (29,162 kw) a 2016 (247,604 kw) en capacidad de energía fotovoltaica fue de nueve veces su tamaño, las expectativas a futuro de este estudio son favorables a la industria, dada la meta de crecimiento del gobierno federal de treinta veces esta capacidad para el año 2035 (p.17).

El mismo estudio señala que siguiendo la tasa de crecimiento entre el año 2015- 2016, la meta de crecimiento pública puede alcanzarse entre el año 2024 y 2025 (p. 17); sin embargo, esta estimación de crecimiento debe analizarse con mayor profundidad, ya que, para el caso de la CDMX, quinto lugar en el consumo de los sistemas, la tendencia poblacional de estancamiento

en la próxima década alrededor de los 9 millones de habitantes<sup>35</sup>, puede significar no crecer en la demanda esperada de los usuarios DAC, los cuales representan la mayor parte de su consumo de sistemas FV.

### Caracterización de la oferta y la demanda potencial de energía fotovoltaica en esquemas de generación distribuida en la Ciudad de México

La población urbana de la Ciudad de México es segundo lugar en cuanto a ingreso corriente promedio por hogar con 70,973 pesos<sup>36</sup> por trimestre, y el primer lugar en gasto con 43,917 pesos. La proporción de gasto respecto a su ingreso es de 61.7%, la mayor para una zona urbana de una muestra de las cinco zonas urbanas por estado con mayores ingresos del país, superior en poco menos del 10% al segundo lugar en esta relación (Querétaro con 51.8%). Su gasto en el rubro que contiene energía eléctrica es de 13.48% superior a la media nacional 10% (INEGI, 2016).

Con base en datos de la Encuesta nacional de ingresos y gastos en los hogares 2015, el Instituto Federal de Telecomunicaciones clasificó en tercios el tipo de población de los estados según su nivel de ingreso. La Ciudad de México recibió el tercer lugar de hogares con mayor ingreso, es decir, con un ingreso de noveno y décimo decil, con 34.1% (Superado por Aguascalientes (36.2%) y Jalisco (36.3%)). Si se considera el área metropolitana del valle de México, los hogares con menores ingresos aumentan, pero en ellos se incluyen 59 municipios del Estado de México y uno de Hidalgo.

Cuadro 9 Clasificación de hogares en México y la Ciudad de México de acuerdo con su ingreso

	Población	Hogares	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Nacional	121,006,307	32,698,383	50%	30%	20%
Ciudad de México	8,854,738	2,636,650	29.2%	36.7%	34.1%
Área Metropolitana	19,713,518	5,505,661	37.4%	36.4%	26.2%

Fuente Instituto Federal de Comunicaciones (2015) Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de las Tecnologías de la Información en los Hogares

El segundo aspecto por considerar, son las necesidades energéticas de la población y la caracterización de amplios espacios geográficos donde se repliquen las necesidades y potenciales de adopción. Una de las premisas del trabajo señala que el crecimiento del uso de sistemas fotovoltaicos se debe en parte al cambio de actividades a las que responde el uso energético de esta fuente de electricidad con la ampliación de modelos de participación de los agentes privados en el subsector gracias al proceso de transición energética.

Caracterizar el consumo energético por delegación, visibiliza las necesidades energéticas y los modelos y tamaños de los sistemas fotovoltaicos más convenientes a grandes grupos poblacionales.

<sup>35</sup> Estimación polinómica a 2025 con base en datos de INEGI <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/df/poblacion/dinamica.aspx?tema=me>

<sup>36</sup> A precios de 2016

El crecimiento de las ventas inmobiliarias para el tercer trimestre de 2017 aumentó en 18.3% respecto al año anterior con 8,382 unidades, el mercado más activo del área del valle de México fue la Ciudad de México con el 55% de las ventas. (Tinsa Research, 2017)

*“La mayor concentración de proyectos se presenta en las zonas Poniente (Álvaro Obregón, Cuajimalpa, Miguel Hidalgo, Atizapán, Huixquilucan y Naucalpan) y Sur (Benito Juárez, Coyoacán, Magdalena Contreras y Tlalpan) con el 61% del total de desarrollos activos al 3T2017.”*

Tinsa Research, 2017, p. 2

La concentración de viviendas más caras está en las zonas poniente y centro, principalmente en las delegaciones Miguel Hidalgo, Benito Juárez, Cuauhtémoc y Coyoacán; sin embargo, estos datos no son concluyentes, pues como se menciona en Sener b (2017), los hogares con mayor renta pueden acceder a bienes con consumo energético más eficiente.

En el estudio de Sánchez (2016) sobre la calidad de vida en la Zona Metropolitana del Valle de México, en distintas escalas espaciales (manzanas, colonias y delegaciones o municipios) se pueden distinguir los consumos energéticos de las viviendas. Tomando en consideración los bienes y servicios que se alimentan de energía eléctrica en la encuesta, se puede construir otra variable que apunte el tipo de consumidor energético de las viviendas por delegación de la Ciudad de México.

Los bienes y servicios considerados para medir el consumo de los hogares son, radio, televisión, refrigerador, lavadora, teléfono celular, computadora e internet.

En la escala ordinal de los resultados, se observó que la ordenación de las delegaciones es similar al de los precios de los inmuebles, es decir, en forma descendente, los consumos energéticos son Benito Juárez, Miguel Hidalgo, Coyoacán, Azcapotzalco, Álvaro Obregón, Cuauhtémoc, Tlalpan, Cuajimalpa de Morelos, Iztacalco, Venustiano Carranza, La Magdalena Contreras, Gustavo A. Madero, Xochimilco, Iztapalapa, Tláhuac, Milpa Alta

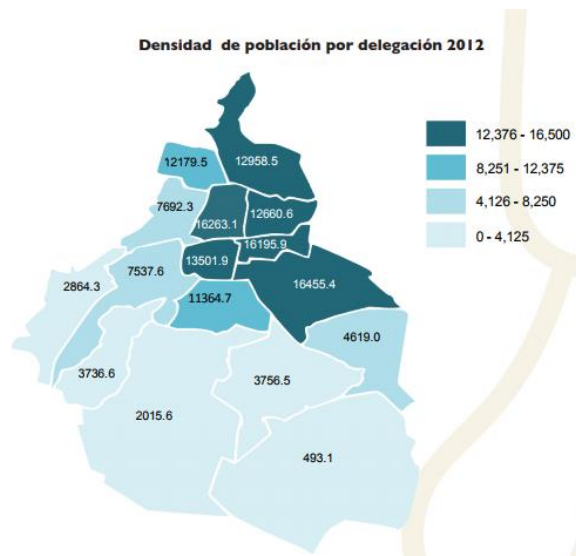
Dependiendo de la densidad poblacional de la región se puede suponer el tipo de vivienda entre casas (en el peculiar interés del estudio aquellos con tarifa DAC) y departamentos, y entonces, seleccionar el tipo de esquema de negocio de energía más adecuado. El resultado de este factor muestra que las alcaldías del norte y oriente de la ciudad tienen mayor concentración, mientras que el poniente más Coyoacán, tienen una densidad intermedia y las alcaldías del sur son las menos pobladas.

En correspondencia con los datos de Tinsa Research (2017) sobre el costo de vivienda en la ciudad, las alcaldías del poniente tendrían una mayor oferta de casas y con base en el costo de estas, se supondría también que tienen mayor propensión a consumos eléctricos mayores a los 500 kW al bimestre<sup>37</sup>; en tanto que las alcaldías del centro y norte donde la población es más densa, habitan bajo esta lógica, en departamentos con tarifas subsidiadas.

---

<sup>37</sup> Tarifa DAC en la Ciudad de México donde solo se aplica la tarifa subsidiada 1 que tiene como precio techo los 500 kW al bimestre

Figura 8 Densidad poblacional en el Distrito Federal por delegación en 2012



Fuente Secretaría de Salud (s/f) consultado en <http://data.salud.cdmx.gob.mx/portal/media/Agenda2012/Paginas/1.11.pdf>

Las tarifas eléctricas son el factor que más importancia económica tiene sobre la elección de uso de energías alternativas, ya que representan una referencia en el costo de la energía que la población estará dispuesta a pagar bajo esquemas de generación distribuida. Si bien, en la hipótesis se menciona que el factor económico no es suficiente para determinar la inversión en energías renovables, funciona como un referente para la valoración de los proyectos e incluso, inhibir la inversión en caso de que los costos resulten muy dispares.

Más del 98% de los hogares en México tienen tarifas eléctricas subsidiadas, durante un par de décadas se han escrito una gran cantidad de estudios que señalan la necesidad de modificar el actual esquema de fiscalización del servicio eléctrico, sin embargo, es fácil deducir la falta de avance en este tópico; un aumento de los precios del servicio eléctrico significa una inflación importante por el consumo directo e indirecto de este energético; la eliminación o disminución de los subsidios eléctricos más la variación de mercado de los precios de la electricidad tendrían severos costos políticos y sociales.

En la Ciudad de México, la tarifa subsidiada para hogares es la tarifa 1, esta comprende de 25kWh a 140 kWh al mes, dependiendo de la cantidad de energía consumida, son los precios que se aplican al kWh; los primeros 75 kWh se consideran de consumo básico, los siguientes 65kWh como consumo intermedio y el resto, consumo excedente. En caso de que exista un consumo excedente que alcance o supere los 250 kWh durante doce meses consecutivos, se modifica la tarifa a doméstica de alto consumo.

En Cardozo (2014, p.30) se propone una comparación de costos de energía eléctrica con y sin sistemas fotovoltaicos en hogares con tarifa 1 y DAC para la Ciudad de México. En esta evaluación de la tarifa 1, considerando un sistema solar fotovoltaico que cubra solamente los kWh de mayor costo que son los que van de 141- 250 kWh por mes, el ahorro anual en términos monetarios sería de 4,836.30 pesos en datos de febrero de 2014, y que de la red solo se consumirían los primeros 140 kWh con precios de más subsidios, lo que disminuiría el costo

total del servicio de 5,834.50 a 998.20. Sin embargo, el costo total del sistema es de 90,631.02 pesos y el periodo de retorno de la inversión se evalúa a 19 años suponiendo precios constantes en las tarifas y subsidios.

En el caso de la tarifa DAC, Cardoso (2014) propone disminuir el consumo eléctrico de la energía del sistema nacional a 75 kWh, es decir, al valor de consumo energético más subsidiado, cambiando de esquema tarifario y reduciendo el precio de cada Watt de energía consumido de la red. En su ejercicio, el hogar consume 305 kWh de los cuales 235 se generar a través del sistema Fv, manteniendo constante la tarifa de febrero de 2014, al año, el costo total de la tarifa sería de 18,96.96 pesos, pero con el sistema Fv, el saldo a pagar es de 470.36 pesos, con un costo de inversión de 113,310.60 pesos y un periodo de retorno de la inversión con la misma suposición de la constancia del precio de la tarifa.

A continuación, se replicará el ejercicio con precios de 2017 para las tarifas DAC y 2, las cuales son las que tienen mayores ahorros bajo el ejercicio de Cardoso (2014), y las que han adoptado esquemas de generación distribuida de energía en baja tensión, los cuales, siguiendo el documento de CRE (2017) son los que mayor participación en capacidad y contratos tienen en la interconexión de energía distribuida.

Las consideraciones para estas evaluaciones son las siguientes. Se considerará la misma cantidad de consumo energético por mes que el ejercicio de Cardoso (2014), es decir 305 kWh; la disminución de consumo energético no modifica el costo de la tarifa por kWh ni el costo base del servicio eléctrico que se cobra en tarifa 2 por la actividad, en cambio, si se modifican ambos valores en DAC, pues pasaría a ser un hogar con tarifa subsidiada; la tarifa utilizada para la evaluación es el promedio de las tarifas del año 2017 desde enero hasta noviembre, este tipo de valuación se replica para el precio base del servicio; el costo de los insumos importados del sistema fotovoltaico tomará como referencia el tipo de cambio Fix de Banxico del 17 de noviembre de 2017.

Figura 9 Ejercicio de ahorro monetario y periodo de retorno de la inversión para tarifa DAC y 2 con uso de sistemas fotovoltaicos

Concepto	Cantidad	USD	Pesos	Total
PFV	10	204.25	3905.7502	39057.502
Inversor	1	1860	35567.664	35567.664
I. Eléctrica	3		3000	9000
Estructura	3		3000	9000
Subtotal				92625.166
M.O.	0.15			13893.7749
Ut.	0.25			23156.2915
IVA	0.16			14820.0266
USD	19.1224			144495.259

DAC	mes	bimestre
305kWh/me	1327.88682	2655.77364
CFM	98.35	196.7
Subtotal	1426.23682	2852.47364
IVA	228.197891	456.395782
DAP 10%		285.247364
Total		3594.11678

Tarifa 2	mes	bimestre
305kWh/me	995.159545	1990.31909
CFM	64.7127273	129.425455
Subtotal	1059.87227	2119.74455
IVA	169.579564	339.159127
DAP 10%		211.974455
Total		2670.87813

		mes	año
Sistema Fv	525kWh/mes	82.959416	6.91328467
Anterior	305kWh/mes	1797.05839	21564.7007
Actual	70kWh/mes	55.3	663.6
Ahorro		1741.75839	20901.1007

		mes	año
Sistema Fv	525kWh/mes	126.448931	10.5374109
Anterior	305kWh/mes	1335.43906	16025.2688
Actual	70kWh/mes	192.722727	2312.67273
Ahorro		1142.71634	13712.596

Fuente Elaboración propia con base en la metodología de Cardozo (2014) y datos de los portales de CFE y Banxico

De los sectores de consumidores elegidos para el ejercicio, los usuarios DAC tienden a disminuir en número absolutos, mientras los usuarios de tarifa 2 aumentan. A pesar de no haber sido incluidos en el ejercicio, también se señala la tendencia de los usuarios de tarifa 3 ya que estos también se encuentran en el grupo de usuarios de baja tensión que podrían adoptar esquemas de generación distribuida a pesar de que sus tarifas son más baratas que las de los usuarios de tarifa 2 y DAC.<sup>38</sup>

Entre los factores que inciden en la disminución de los usuarios totales de tarifa DAC se puede identificar el avance de la eficiencia energética en los bienes de consumo doméstico alimentados por energía eléctrica. Como señala Sener b (2017), los hogares con mayor renta tienen acceso a bienes con consumos eléctricos más eficientes, lo que puede cambiar el régimen de tarifas de usuarios DAC cercanos al límite del subsidio si cumplen con el periodo que marca la normatividad.

<sup>38</sup> El precio de la tarifa 3 por kWh consumido solo tiene un precio para cualquier cantidad, 1.86 pesos promedio para 2017. Mientras tanto, la tarifa 2 tiene tres rangos diferentes, el promedio de los precios de tarifa más barato es de 2.6 pesos (0- 50 kWh) y el precio de la tarifa DAC es de 4.25 pesos en el mismo periodo de 2017.

Cuadro 10 Usuarios de energía eléctrica por tarifa

Descripción	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Doméstico alto consumo	511,083.00	545,241.00	493,002.00	456,706.00	419,365.00	434,502.00	427,097.00	437,874.00
Comercial 2 General hasta 25 kW de demanda	3,442,014.00	3,510,985.00	3,595,335.00	3,665,881.00	3,739,409.00	3,853,373.00	3,964,914.00	4,075,663.00
Comercial 3 General para más de 25 kW de demanda	22,146.00	21,916.00	21,597.00	21,036.00	20,605.00	20,427.00	20,224.00	20,062.00

Fuente Elaboración propia con datos del Sistema de información energética <http://sie.energia.gob.mx>

En proyectos de mediana capacidad, a pesar de la poca información del consumidor sobre los beneficios de la energía fotovoltaica, en Autren (s.f, p. 149) se señalan un par de proyectos en la Ciudad de México a nivel industrial; estos son para la empresa Green Corner (2006, 30.6 kW) y la Universidad Autónoma Metropolitana (2009, 60kW).

Estos proyectos están ligados a organizaciones con objetivos más allá de la competitividad económica, la UAM es una institución académica y el proyecto se coordinó con la investigación del Instituto de Investigaciones Eléctricas (ahora INEEL); mientras The Green Corner es una empresa en cuya misión como organización está el cuidado del ambiente y la disminución del impacto de sus actividades sobre la sustentabilidad de este.

Observando la oferta en la cadena fotovoltaica nacional, la manufactura de paneles solares en México es reactiva de la demanda; si bien, no se obtuvieron datos concretos de la producción total de estos equipos a nivel nacional, se encontraron datos de comercio internacional que permite una aproximación de su comportamiento.

Cuadro 11 Flujos comerciales en paneles fotovoltaicos enero- agosto 2017

	Valores	Volumen
Exportaciones	83,119,434	3,864,040
Importaciones	537,420,966	41,664,883
Balance de comercio internacional	-454,301,532	-37,800,843

Fuente: Estadísticas SIAVI consultado en <http://www.economia-snci.gob.mx/>

En México, las principales empresas de manufactura de paneles fotovoltaicos son Kyocera, Sanyo, Jabil Circuit, Edison SunPower, Solartec y ERDM Solar (ProMéxico, 2017)<sup>39</sup>, sin embargo, este fragmento de la cadena es el que menor cantidad de empresas presenta (INECC, 2016). La manufactura representa el 76% del costo de cada unidad de energía generada por

<sup>39</sup> ERDM, IusaSol y Solartec fundaron en 2014 la Asociación mexicana de fabricantes de sistemas fotovoltaicos con el fin de fortalecer el perfil del sector fotovoltaico en el proceso de transición energética y los nuevos modelos de negocio.

esta fuente, al mismo tiempo participa con el 75% del valor agregado de ella (INECC, 2016) y la mayor cantidad de los trabajos en la cadena productiva.

Para el caso de la Ciudad de México, se tomó como referencia un catálogo en línea de empresas con giro alrededor de la energía fotovoltaica y su giro. Los resultados son similares a los ofrecidos a nivel nacional en el estudio de INECC (2016, p.76) donde la actividad de manufactura es menor respecto al resto de los eslabones.

Cuadro 13 Inventario de empresas de energía solar y giro en la Ciudad de México

Tipo de empresa	Cantidad
Energía fotovoltaica conectada	61
Distribución	41
Fabricación	18
Formación	13
Ingeniería	47
Instalación	46
O&M	38
Promoción	18
Publicidad	2
Tienda online	8

Fuente: Generación propia con datos de Solarweb.net <https://mexico.solarweb.net/c/9/empresas-energia-solar-Distrito-Federal-p1.html>

Como último elemento de caracterización de la oferta, a nivel nacional se tiene un déficit de paneles fotovoltaicos en unidades. El precio promedio de las importaciones es menor al de las exportaciones. El resultado de la balanza comercial supone que, en México, la demanda de paneles fotovoltaicos es mayor a la oferta nacional, a pesar de que, por el número de unidades importadas, se ve interés de los consumidores mexicanos por estos productos.

Continuando con el comercio internacional se señala que la importación de paneles fotovoltaicos tiene un impuesto arancelario de 16% señalado en la Ley de Impuestos Generales de Importación y Exportación (LIGIE), factor que disminuye su competitividad al compararlos con otros esquemas de generación con mayor *know how* y manufactura de contenido nacional, el cual es el proceso más caro por mega Watt en la cadena de proyectos fotovoltaicos (INECC, 2016).

Cuadro 12 Exportaciones e importaciones mexicanas de paneles fotovoltaicos por país

Exportaciones				Importaciones			
País	Valor	Volumen	Val/Vol	País	Valor	Volumen	Val/Vol
Estados Unidos de América	48,988,689	1126863	43.4735092	China (República Popular de)	161,662,405	17506888	9.234217126
Francia	20,303,772	1507872	13.46518272	Japón	132,822,051	17500911	7.589436401
Países Bajos (Reino de Los)	12,269,758	963352	12.73652621	Estados Unidos de América	65,428,000	4855117	13.47609131

Fuente: Elaboración propia con datos de Estadísticas SIAVI, consultados en <http://www.economia-snci.gob.mx/>



## Acciones para la adopción de energía fotovoltaica en formatos de generación distribuida en la Ciudad de México

Existen tres métodos de valuación de los flujos de generación de energía en formatos de generación distribuida permitidos por la ley mexicana; *net metering*, *net billing* y venta total.

El *net metering* es un esquema de contraprestación que hace un balance por periodo de los flujos de energía entregada a la red eléctrica desde los sistemas de generación distribuida contra los flujos de energía recibida desde la red al usuario final de la energía.

El *net billing* es un modelo en el que los periodos de valuación de la energía entregada o recibida se limitan a una hora, pues la decisión de consumo o la venta del producto energético del sistema distribuido se rige en orden del beneficio obtenible por el precio de venta de la energía en el nodo de distribución eléctrica de la región. Es decir, un generador exento estará dispuesto a vender su energía en las horas en que está sea más cara (disminuyendo su consumo en horas pico de demanda) o consumir como principal insumo energético la energía que él mismo produce (beneficiándose de la diferencia de precio respecto al costo de la energía de la red general), mientras que en las horas en las que la energía de la red es más barata puede aumentar su consumo de energía, a través de la energía de la red y complementando con la generación propia.

La venta total de energía es un contrato en el que el generador exento entrega completamente la energía que produce, esta tiene la misma valuación que el *net billing*, es decir, se valúa por hora respecto al nodo de interconexión regional con la red general de distribución.

Con excepción de la venta total, que carece de usuario final previo a la entrega de la electricidad a la red, los modelos de contraprestación no obligan a que el generador exento sea el mismo usuario final de la energía, es decir, no obliga que el dueño de los sistemas de generación distribuida (o en casos de mediana tensión, centrales generadoras) sea el mismo que consume la energía que se genera en el sitio. Esto puede traducirse a esquemas de negocio en los que los sistemas fotovoltaicos (tecnología particular del estudio) sean rentados y puestos sobre el inmueble de los usuarios finales a una tarifa fija (a costos atractivos respecto a las tarifas eléctricas del suministrador de servicios básicos, es decir, CFE) y que la valuación de entrega o adquisición de flujos eléctricos sea decidida por el generador exento, el cual se beneficiaría de este comercio siempre y cuando cumpla con las disposiciones de ley referidas en los contratos de interconexión.

Con base en estos modelos de negocio y reconociendo los participantes en este nicho de mercado, pueden proponerse algunos modelos de adopción de energía fotovoltaica acordes a las condiciones de la Ciudad de México.

En primer lugar, se tiene la propuesta de contratos de interconexión en *net metering* o *net billing* para usuarios finales propietarios de los sistemas fotovoltaicos, es decir, que también cumplen con el rol de generadores exentos.

El primer grupo en este modelo son los usuarios de tarifa DAC, los cuales se señaló que tienen el menor periodo de recuperación de la inversión de los sistemas fotovoltaicos; las micro, pequeñas y medianas empresas de tarifa 2, a pesar de tener tarifas más bajas que las DAC,

podrían evaluar su consumo de estos sistemas de generación respecto al precio de los estratos de tarifa de mega Watts más caros de la tarifa.

En ABM (2017) se señala que los usuarios de tarifa DAC representan el 9.37% de los usuarios de tarifas no subsidiadas con 431,112 contratos (p. 6); en la CDMX, este sector es el principal consumidor de sistemas fotovoltaicos, el crecimiento esperado de estos usuarios, como se comentó anteriormente, no se espera que cumpla con los niveles esperados de la meta de capacidad para 2025 e inclusive con los de 2035, ya que sumado al poco crecimiento poblacional debe considerarse el futuro de la eficiencia energética de los bienes de consumo del hogar sobre la cantidad total de energía eléctrica consumida por los usuarios DAC.

Estratos de consumidores domésticos con tarifas subsidiadas podrían acceder al mercado y los beneficios de la energía distribuida a través de la adopción de sistemas para áreas comunes en edificios habitacionales. Como se observó en el mapa de densidad de la CDMX y en la caracterización de la vivienda en la Ciudad de México, junto con datos como el 92% de los proyectos de vivienda de 2015 fueron construcción de departamentos<sup>40</sup> (modelo de verticalización de la ciudad), puede considerarse que, aunque los hogares en estas construcciones son usuarios de tarifa subsidiada, los costos de la energía utilizada en áreas comunes para luminarias, sistemas de bombeo de agua y sistema de seguridad entre otros servicios, pagan tarifas generales 2 o 3, las cuales podrían satisfacerse total o parcialmente mediante la generación distribuida y pagarse de forma colectiva.

La programación de créditos para incentivar el consumo de energías renovables está a cargo del Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (INFONAVIT)<sup>41</sup> a través del programa de Hipoteca verde para personas con ingreso de hasta 25 salarios mínimos, y por otra parte el Programa de apoyo a la generación distribuida del Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE)<sup>42</sup> con créditos del 100% del valor del sistema eléctrico, servicios de evaluación y desarrollo del proyecto, y certificación de los insumos del sistema como los paneles y los inversores<sup>43</sup>.

Los esquemas de venta total pueden hacer uso de espacios ociosos en la ciudad o espacios que no requieren de una importante cantidad de electricidad para sus actividades y que pueden consumir a bajo costo la energía distribuida por la red general de distribución. El ejemplo más común señalado es el de un estacionamiento privado.

Los modelos de negocio donde el usuario final y el generador exento no son el mismo puede llevar a modelos de negocio innovadores en los que las empresas propietarias de los sistemas

---

<sup>40</sup><https://www.razon.com.mx/nueve-de-cada-10-viviendas-en-df-son-departamentos/>

<sup>41</sup>[http://www.fide.org.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=602:abril-28-2015-fide-presenta-nuevo-programa-de-apoyo-a-la-generacion-distribuida&catid=57:noticias&Itemid=267](http://www.fide.org.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=602:abril-28-2015-fide-presenta-nuevo-programa-de-apoyo-a-la-generacion-distribuida&catid=57:noticias&Itemid=267)

<sup>42</sup>[http://www.fide.org.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=602:abril-28-2015-fide-presenta-nuevo-programa-de-apoyo-a-la-generacion-distribuida&catid=57:noticias&Itemid=267](http://www.fide.org.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=602:abril-28-2015-fide-presenta-nuevo-programa-de-apoyo-a-la-generacion-distribuida&catid=57:noticias&Itemid=267)

<sup>43</sup> En la página de FIDE no se encontraron datos de la tasa de interés del crédito, sin embargo, si se especifica que el crédito debe ser cubierto en un periodo de cuatro años para proyectos de usuarios DAC y empresas, y de tres años para proyectos de cogeneración en empresas.

En cuanto al padrón de las empresas y productos fotovoltaicos, en el documento de requisitos para el registro de las empresas (<http://www.fide.org.mx/images/stories/cursos/cnec/listado.pdf>) no se especifica las certificaciones que se deben cumplir, pero sí que se debe cumplir con estas. (consultado el 23/11/2017)

fotovoltaicos rentan estos a los usuarios finales y comercian el excedente a la red general de distribución.

Otro modelo de negocio de estos formatos son los PAYG (pay as you go) en los que el usuario de los sistemas paga una inversión inicial por los servicios alrededor de la instalación y el mantenimiento y después, respecto a la calendarización de pagos con la empresa propietaria del sistema, paga tarifas respecto a la energía utilizada con precios mejores a los ofrecidos por la red general.<sup>44</sup> (Storper, 2013)

### Conclusiones del capítulo 3

La primera mitad del capítulo concluye señalando e identificando las características del marco de ciudades inteligentes y las propuestas tecnológicas formadas bajo él. Los modelos de consumo eléctrico que se formalizan en la propuesta tecnológica son congruentes de este marco de adopción de tecnologías bajo parámetros de sustentabilidad, uso de redes de comunicación instantánea con el usuario y/o entre las partes del sistema, dispersión de los procesos productivos, creación de empleo y democratización de los beneficios de la tecnología.

En este capítulo se revisaron los nichos de consumo de la generación distribuida, el costo de los sistemas fotovoltaicos, los programas de incentivos públicos para la inversión, la geografía de los consumidores, la oferta y las fortalezas en la cadena de valor, y se mostraron los problemas estructurales de las redes de transmisión y distribución que podrían resolverse en cierta medida a través de generación distribuida.

La energía fotovoltaica en formato de generación distribuida para las ciudades aprovecha espacios ociosos, se adecua en proporción de las necesidades de residencias y comercios, disminuye las pérdidas en el transporte de la energía, brinda resiliencia frente a fenómenos naturales o problemas desde los centros de generación o líneas de transmisión, abarata los costos de operación y mantenimiento, genera bajas cantidades de GEI en su ciclo de vida, disminuye los costos eléctricos y hasta puede ser una fuente de ingresos a través del excedente de energía respecto al consumo o volcarse totalmente hacia la venta.

Si bien en los capítulos previos se habló del desarrollo tecnológico y legal de la generación fotovoltaica distribuida, factores como los subsidios en las tarifas eléctricas, la información disponible de los beneficios de la tecnología al público consumidor y la baja disposición de los consumidores a la adquisición de sistemas fotovoltaicos por cuestiones precio y complejidad señalada en la literatura, son límites importantes al crecimiento de este mercado.

Refiriendo a las características particulares de la Ciudad de México esta cumple con características climatológicas y de radiación solar adecuadas para la generación fotovoltaica eficiente para ser competitiva en los nichos de generación distribuida en pequeña escala.

El marco jurídico local tiene como objetivo la incorporación de sistemas de generación eléctrica con base en fuentes renovables para cumplir con metas de sustentabilidad, y que también

---

<sup>44</sup> Debe señalarse que no solo el precio de la tarifa es beneficio del consumo de estos esquemas de generación distribuida, como se señala durante el trabajo, los beneficios pueden ser desde la certidumbre del flujo eléctrico, el acceso a créditos de remodelación de vivienda hasta la percepción de apoyo a la sustentabilidad del territorio.

pueden complementar los déficits en la generación eléctrica y los problemas con la red general y el servicio público de energía eléctrica.

En la entidad, gracias al uso de esquemas innovadores y flexibles de generación distribuida, existe un amplio potencial en usuarios domésticos y de servicios generales cuyos excedentes se ofrezcan a la red bajo contratos de *net billing* y *net metering* y venta total. Es importante remarcar que elemento de inclusión social que rige el concepto de ciudad inteligente del trabajo, permitió vislumbrar la incorporación en la propuesta de sistemas fotovoltaicos en áreas comunes para aquellos usuarios domésticos subsidiados más los esquemas de venta total.

Se observó que la cadena productiva de energía fotovoltaica en México aún no tiene un desarrollo importante en la manufactura, eslabón que aporta el mayor valor agregado y el empleo, y al mismo tiempo, el costo del sistema fotovoltaico (esto siendo factor que repercute en la importación).

Otra problemática sobre la oferta fotovoltaica en México es que a la importación de los paneles solares se agrega un arancel de 16% lo que resta competitividad frente a otras tecnologías de generación con mayor *know how* y producción de paneles a nivel nacional.

En la Ciudad de México, la oferta es un espejo del agregado nacional, con la mayor cantidad de los oferentes en los servicios de instalación y mantenimiento; por los requerimientos de la fabricación de los paneles solares, es probable que las actividades de mayor valor agregado, en caso presentarse en México, opten por regiones con climas y radiación que faciliten las pruebas de transformación energética.

Se espera que las metas de capacidad de energía fotovoltaica planteadas desde el sector público para el 2035 se puedan cumplir, y de forma más acelerada a lo esperado si se mantiene la actual tendencia de consumo de sistemas FV. Sin embargo, se observó que la repercusión favorable a esta tendencia desde la Ciudad de México solo se podrá dar si facilita e incentiva el crecimiento de mercados y modelos de negocio en consumidores de tarifas 2 e inclusive 3 sobre los usuarios de tarifa DAC.

## Conclusiones y propuestas

¿Vale la pena la adopción de los sistemas frente a los objetivos energéticos y ambientales del país?

En el contexto actual de transformación de la matriz eléctrica, las fuentes de energía renovable son la tendencia ulterior de los esfuerzos legislativos que se realizan gracias a su capacidad de generación eléctrica con bajas o nulas emisiones de gases de efecto invernadero.

Si en las perspectivas de la matriz eléctrica mexicana y la generación eléctrica mundial, los combustibles fósiles seguirán siendo las fuentes principales de generación, se espera que las fuentes renovables aumenten su participación como prioridad para un nuevo paradigma de este subsector energético. (DNV GL, 2016, p. 63) gracias a factores como su desarrollo tecnológico en capacidad, factor de planta almacenaje y aprovechamiento; el desarrollo legislativo e instrumentación de políticas a nivel internacional y por países; el agotamiento de los recursos fósiles, el aumento de sus costos de extracción y el costo de oportunidad entre sus distintos aprovechamientos como insumo.

El desarrollo de las fuentes renovables difiere entre sí, uno de los crecimientos más grandes esperados para la década de 2020 en México se encuentra en la energía fotovoltaica. Esto, en parte, es consecuencia de medir su crecimiento marginal respecto al bajo acervo actual de esta tecnología en la matriz eléctrica nacional; la expectativa en México y el mundo sobre las FV es que su ponderación en el mix eléctrico aumente y esto es efecto de variables como la disminución de sus costos (el más barato esperado para algunas regiones en el mundo para 2025), su eficiencia (disminución de precios, constante mejoría en paneles y estructuras, abaratamiento y estandarización de tecnologías habilitadoras, etc.) y flexibilidad de esquemas de producción y negocio de mayor certidumbre en las inversiones de los agentes en los mercados eléctricos.

En México, los resultados de la segunda subasta de energías limpias organizadas por el CENACE, en la que la energía solar obtuvo más de la mitad de la potencia ofertada es un síntoma de ello; al mismo tiempo, a pesar de algunas claridades necesarias en los mercados mayoristas, se espera que, en los próximos años, el sector fotovoltaico despegue no solo en inversión sino también en financiamiento<sup>45</sup>.

Los párrafos con los que inicia este segmento de conclusiones, aunque no refieren a la particularidad del trabajo, son necesarios como contexto y expectativa de la tecnología fotovoltaica donde se inserta la propuesta, y que plantea que la energía fotovoltaica puede desenvolverse eficientemente en la matriz eléctrica nacional.

Bajo este panorama, la cuestión no es si el crecimiento futuro del mercado eléctrico del país se realizará con base en fuentes renovables o fósiles, sino cuáles serán las formas óptimas en que se introducirán las energías renovables y cuál será la velocidad de implementación de estas en el mercado eléctrico nacional.

Las conclusiones de la investigación comienzan señalando que la existencia de un marco tecnológico institucional acotado en las características del concepto de ciudad inteligente para el caso de la Ciudad de México aún está en construcción, sobre todo en los elementos más próximos al consumidor como la difusión de las ventajas de la tecnología en cuanto a precio, eficacia del suministro, subsidios y programas sociales para la adquisición de los equipos, entre otras.

Si bien, existe un marco legal que estimula la transición energética hacia esquemas de incorporación de energías renovables y del consumo de sistemas fotovoltaicos de generación distribuida, aún no se suministra la información necesaria a los consumidores, no hay mucha presencia de oferentes en todos los eslabones de producción nacional, principalmente en los de mayor valor agregado, la importación de paneles, falta de normatividad oficial y una clara programación de recursos para la inversión en la adopción de sistemas fotovoltaicos.

En entrevista con Víctor Florencio Ramírez Cabrera, director ejecutivo de la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES), se señaló que uno de los problemas de la adopción de energía fotovoltaica de generación distribuida en la Ciudad de México, es que a pesar de que existe un marco de aprovechamiento de estos esquemas de generación eléctrica, no existe interés por parte de la ciudadanía por emprender este tipo de inversiones dado que la mayoría cuentan con

---

<sup>45</sup> <https://www.greentechmedia.com/articles/read/an-illustrated-guide-to-mexicos-solar-market>

tarifa 1 (tarifa subsidiada), y muchos de los usuarios DAC no tienen certidumbre de que los sistemas FV cubran sus necesidades energéticas.

Como es mencionado en el “Primer análisis sobre los beneficios de la generación limpia y distribuida y la eficiencia energética en México”, la recuperación de la inversión tomaría de 15 a 21 años considerando el actual esquema de tarifas eléctricas (SENER, 2016 p. 12) o como se señalaba en el ejercicio de Cardozo (2014), 17 años.

Otro problema reside en la incertidumbre de que el sistema fotovoltaico pueda satisfacer las necesidades económicas y energéticas de los usuarios por la falta de certificaciones y estándares en la instalación y en los equipos a nivel obligatorio, ya que las NMX actuales al no ser obligatorias fracturan la oferta entre aquellos que las siguen y quienes no, generan costos diferentes para un mismo producto y pueden repercutir en la confianza del consumidor previamente a la compra o posterior a ella por un mal servicio o una generación deficiente que no cumpla con los requerimientos del demandante, extienda la tasa de retorno de la inversión o que simplemente no funcione.

En el aspecto legislativo de las actividades relacionadas a la tecnología fotovoltaica en sistemas de generación distribuida, existe un importante avance para el desarrollo de los energéticos renovables en la matriz eléctrica como es los concursos de concesión de centrales de generación, las metas de generación de renovables y particularmente para el trabajo, los modelos de negocio alrededor de la generación distribuida.

Los esquemas de negocio señalados en las disposiciones administrativas para contratos de pequeña escala facilitan el consumo de los sistemas FV en distintos nichos, por ejemplo, en los hogares con consumo DAC cuyas tarifas eléctricas no subsidiadas permiten periodos de retorno de la inversión de sistemas fotovoltaicos de 5 a 7 años; las áreas comunes de edificios de departamentos con tarifa general 2 también se pueden beneficiar permitiendo involucrar un grupo de población con menos recursos que el anterior; asimismo, la generación distribuida puede ser acoplada en actividades productivas con requerimientos de hasta 500 KW.

A estos modelos se suma la posibilidad de invertir en sistemas FV con el fin de único de aprovechar espacios ociosos exclusivamente para la venta total de electricidad a la red nacional.

El déficit en capacidad de generación de la Ciudad de México, las pérdidas de energía en las líneas de distribución y transmisión, y la concentración de ciertos tipos de vivienda y sus respectivos consumos eléctricos, generan nichos de consumo en los que las capacidades inherentes de la tecnología fotovoltaica y las condiciones climáticas y de radiación de la CDMX fomentan la competitividad de los modelos de generación distribuida.

Como consecuencia del establecimiento y la extinción de Luz y Fuerza del Centro en el Valle de México existe una cantidad importante de trabajadores con conocimientos genéricos del subsector eléctrico. Agregado a esto existen empresas y asociaciones con presencia en la Ciudad de México que brindan asesoramientos para el consumidor, y servicios de capacitación para los servicios relacionados a la generación distribuida.

¿Cómo adoptar sistemas fotovoltaicos para la generación distribuida en la Ciudad de México?

El mercado eléctrico para la generación distribuida en la Ciudad de México aún es marginal, se requiere el desarrollo del marco de normas y reglas que establezcan estándares de competencia

en las actividades existentes y se certifique el trabajo de los que las ejercen, lo que en el largo plazo puede ampliar las actividades de la cadena de valor que se realicen en el país.

A pesar de que la actual tendencia de crecimiento de capacidad de energía fotovoltaica en el país y en la entidad política está dentro del nivel esperado por el gobierno federal para alcanzar las metas a 2035, se requiere modificar las herramientas de política e incentivos hacia los usuarios de tarifas 2 e inclusive 3, ya que estos tienen un mayor crecimiento esperado que los usuarios de tarifa DAC, que hasta ahora han sido el motor de la instalación de capacidad fotovoltaica en la Ciudad de México.

El mercado de la Ciudad de México debe tener como estrategia crecer como centro de consumo de los sistemas fotovoltaicos y reforzar sus actividades de servicio de la cadena FV.

Estados como Guanajuato con la inversión pública de CFE y Chihuahua con la inversión privada de Sun- Edison Inc. Cuentan con mejores condiciones de espacio y climáticas para el desarrollo de la manufactura y pruebas de laboratorio de los panees FV.

Es importante que se consoliden normas oficiales mexicanas, pues su obligatoriedad estandariza los procesos y separa a los oferentes en favor de la certificación de servicios con niveles de calidad adecuados para el uso eficiente y eficaz de los equipos, lo que lleva a la certidumbre del consumidor y la disipación de mitos entorno al método de generación. Es importante señalar, que la certificación no solo se debe atender las cuestiones relacionadas a la generación, sino a la sustentabilidad de los procesos de fabricación y manejo de desperdicios.

La demanda es la parte del mercado la cual más se debe fortalecer de forma inmediata. En OCDE (2014) se señala que en la búsqueda de establecer políticas adecuadas para el desarrollo de lo que denomina “Eco innovaciones”, las políticas se deben seleccionar con base en el grado de avance de los mercados de los productos innovadores en los países; mientras que las políticas dirigidas a la oferta refieren a países con avance tecnológico importante en la particular industria, los países rezagados tecnológicamente en la trayectoria tecnológica que se busca adoptar debe dirigir sus políticas en el fortalecimiento de la demanda; lo que se traduce en instrumentos de diferentes índoles como la información disponible, el financiamiento, y los instrumentos de certificación tanto en la cuestión de generación eficiente como la sustentabilidad.

El mismo texto de OCDE (pp. 26- 27), señala las características genéricas de la política nacional para la adopción eficaz de las innovaciones:

“1.- Procesos de periodos largos; necesidad de evolucionar y desarrollar los instrumentos de apoyo adaptándose a la etapa de inserción de la tecnología

2.- Apoyo y coordinación entre niveles distintos de gobierno, fortalecimiento de estrategias de mercado que respondan al entorno local

3.- Intensa comunicación entre industria e investigación. Participación pública en el fortalecimiento de estas redes”

4.- Cooperación internacional basada en la experiencia previa y la investigación actual.

Estas propuestas se suman a las antes señaladas como la de Mallet (2007) acerca de la importancia de la cooperación entre agentes locales del sector público, privado y academia para

el desarrollo de proyectos de energía renovable en la entidad política, la propuesta de Wüstenhagen (2007) sobre la participación del gobierno como mediador para el establecimiento del mercado de energéticos renovables, y por último, el punto señalado por IEA (2017, p. 17) sobre cómo desarrollar una industria de productos modulares como la fotovoltaica.

En el largo plazo deberá pensarse en el desarrollo de la propia cadena de tecnologías fotovoltaicas para cubrir las necesidades de la generación distribuida en el mercado local. Por ejemplo, en Portugal, existe un spin off público- privado, Solar Tiles Consortium, encargada de la investigación y desarrollo de tejas fotovoltaicas, en la arquitectura vernácula de ese país, las tejas son elemento básico de los techos de las viviendas; la iniciativa busca cumplir con los requerimientos del mercado de la construcción al mismo tiempo que genera una alternativa para la obtención de energía eléctrica.

Se requiere investigación y desarrollo en la industria fotovoltaica para la incorporación de materiales con propiedades fotovoltaicas acordes a las necesidades y capacidades del entorno urbano local, o anexas las capacidades fotovoltaicas a otras tecnologías existentes y que resulten de mayor valor agregado para el consumidor (*Neue Kombinationen*).

En temas económicos, dos aspectos deben estudiarse con profundidad; primero, la aparición de los agentes conocidos como “prosumidores” y su papel en la transformación de las cadenas productivas del mercado eléctrico y otros mercados, identificando y clasificando las repercusiones que pueden tener como agente social y político.

El segundo elemento por profundizar es la caracterización del desarrollo de la oferta en la fotovoltaica en México con miras a incorporar actividades de mayor valor agregado y empleo, como el ensamblaje y la investigación y el desarrollo, retomando las propuestas y evaluando los modelos colaborativos que se han caracterizado en los estudios citados para la industria fotovoltaica.

## Anexos

### Abreviaturas, siglas y unidades de medida

**CDMX** Ciudad de México

**CEL** Certificados de energías limpias

**CENACE** Centro nacional de control de energía

**CO<sub>2</sub>e** Dióxido de carbono equivalente

**CFE** Comisión Federal de Electricidad

**CONUEE** Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía

**CRE** Comisión reguladora de energía

**DAC** Consumo doméstico de alto consumo



**DER** Fuentes energéticas distribuidas (Distributed Energy Resources)

**EEA** European Energy Agency

**ENIGH** Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares

**FIDE** Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica

**GEI** Gases de efecto invernadero

**IPCC** Intergovernmental Panel on Climate Change

**IEA** International Energy Agency

**IRENA** International Renewable Energy Agency

**kW** KiloWatt

**kWh** KiloWatt hora

**LIE-** Ley de la Industria Eléctrica

**LTE** Ley de Transición Energética

**LyFC** Luz y fuerza del Centro

**Mtoe** Millones de toneladas de petróleo equivalente<sup>46</sup>

**O&M** Operación y mantenimiento

**POISE** Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico

**FV** Energía fotovoltaica

**R&D** Research and Development o ID, Investigación y desarrollo

**SEN** Sistema eléctrico nacional

**TIU** Tiempo de interrupción por usuario

---

<sup>46</sup> En relación a otras escalas energéticas, el Mtoe es igual a 42 megajoules (MJ) o 12 kiloWatts hora (kWh)

## Definiciones

**Cambio climático-** “Cambio del clima atribuido directa o indirectamente a actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera mundial, y que viene a añadirse a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables.” (IPCC, 1995)

Las acciones de adaptación y mitigación son la respuesta antropogénica de este fenómeno y se basa en la política local y conjunta de los gobiernos de una gran parte de países del mundo. Mientras que las acciones de adaptación tienen como objetivo la transformación de estructuras y procesos humanos que se acoplen a las nuevas condiciones climáticas, la mitigación pretende aminorar el impacto antropogénico del cambio en el clima. La política ambiental actual de los países es una combinación particular de ambos tipos de acciones, esto depende de las condiciones de los Estados, como lo son sus recursos energéticos, el desarrollo industrial, la vulnerabilidad a fenómenos climatológicos, etc.

**Balance nacional de energía-** “muestra el panorama del país en materia energética ya que, de forma integrada y comparativa, presenta los diferentes flujos de energía desde la producción hasta el consumo... Este conocimiento aporta elementos cuantitativos para la planeación indicativa y, siendo una base sólida de información, apoya la toma de decisiones al interior del sector energético nacional, así como en sectores relacionados.” (SENER, 2014)

**Calificación de eficiencia-** Se obtiene al dividir los Watts pico del panel solar entre el área de la superficie de este.

**Cogeneración-** Producción simultánea de energía útil en forma eléctrica y térmica, este proceso está relacionado con el uso eficiente de los recursos, el abaratamiento de costos y de tiempo.

**Distribuidor-** Organismos o empresas encargadas de la distribución de la energía. Esta actividad tiene carácter exclusivo del servicio público.

**Ecoinnovación-** Productos, servicios o procesos que, al incorporarse comercialmente en el mercado, reducen la generación de contaminantes o benefician el medio ambiente. Al mismo tiempo, este tipo de innovaciones pueden repercutir positivamente en algunos parámetros sociales como el empleo.

**Eficiencia Energética:** Todas las acciones que conlleven a una reducción, económicamente viable, de la cantidad de energía que se requiere para satisfacer las necesidades energéticas de los servicios y bienes que demanda la sociedad, asegurando un nivel de calidad igual o superior. (LTE, 2015)

**Energía-** Capacidad de hacer un trabajo. Una unidad de medida de la energía es el joule, cuyo valor es tan pequeño que se requiere de otro tipo de unidad, por ejemplo, el Watt hora, que equivale a 3600 Joule o 3600 Watts. Este valor resulta a partir de la definición de un Watt el

cual es el valor de un Joule por segundo. El Watt hora no es mide una temporalidad, sino una tasa fija de capacidad como el caso de un volumen.

**Energía primaria y energía secundaria-** La energía primaria se relaciona a la energía contenida en el medio ambiente y la cual no ha sufrido alguna transformación por procesos humanos, mientras que la energía secundaria está contenida en productos energéticos resultantes de un proceso de alteración humana, por ejemplo, la generación eléctrica o el coque del petróleo.

**Energía fotovoltaica-** Energía eléctrica surgida del proceso de transforma de la energía solar captada dispositivos compuestos de la unión en delgadas capas de diferentes semiconductores positivos y negativos, normalmente fabricados en silicio.

**Energía renovable-** Son flujos de energía que se reponen constantemente, cuyas fuentes se consideran inagotables en consecuencia de los ciclos de vida de estas. El sol es la principal fuente de energía renovable que recibe el planeta, la cantidad de energía que percibe éste del sol es de cuatro veces la cantidad de energía que se consume en la actualidad por fuentes fósiles y radioactivas.

Principalmente, las fuentes de energías renovables tienen su origen en el sol; sin embargo, la energía geotérmica (proveniente del calor de los procesos de descomposición de distintos materiales provenientes del núcleo terrestre), la mareomotriz (relacionada a la atracción gravitacional entre la tierra y la luna) y en cierta forma de la energía producida a través de la biomasa terrestre), no dependen de la energía de este cuerpo celeste.

**Externalidades-** “Subproductos de actividades que afectan al bienestar de la población o dañan el medio ambiente, cuando esos impactos no se reflejan en los precios de mercado. Los costos (o beneficios) asociados con externalidades no comprenden sistemas normalizados de contabilidad de costos.” (IPCC, 1995)

**Factor de capacidad-** Es la tasa a la que un aerogenerador puede producir en un año respecto al valor nominal posible. Es decir, el valor de energía aprovechada por un aerogenerador reconociendo las intermitencias del aire, los valores menores a su capacidad máxima y los periodos de viento superior a su capacidad en los cuales se apagan para no dañar los mecanismos de la máquina. Se calcula que los factores de capacidad de los aerogeneradores están en el promedio de 0.2 y 0.4, siendo el valor máximo uno.

**Gases de efecto invernadero-** Gases que “absorben la radiación infrarroja que busca salir de la tierra y la redirigen en direcciones aleatorias; el efecto de esta redirección aleatoria del tráfico del calor atmosférico es el impedir la salida del calor del planeta, al igual que un edredón.” (Mackay, 2009, p. 23).

A pesar de su existencia en la naturaleza, mucha de la preocupación actual del impacto ambiental de estos gases es por la súbita producción antropogénica a causa de nuestros procesos productivos. Entre los principales gases de efecto invernadero están el vapor de agua (H<sub>2</sub>O), el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>) y el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y el ozono (O<sub>3</sub>).

**Generación en pequeña escala (también microgeneración)-** “fuente de energía distribuida que es interconectada al sistema eléctrico nacional con tensiones menores a 1 kV (kilo voltio) y en potencias menores o iguales a 30 kW (kilo Watts).” (CFE, 2017)

**Generación limpia distribuida-** Generación de energía eléctrica que, en los términos de la Ley de la Industria Eléctrica, cumple con las siguientes características: a) Se realiza por un Generador Exento; b) Se realiza en una Central Eléctrica que se encuentra interconectada a un circuito de distribución que contenga una alta concentración de Centros de Carga, en los términos de las Reglas del Mercado, y c) Se realiza a partir de Energías Limpias.

**Generador exento-** Titular o representante de una o varios centros eléctricos en generación distribuida o en el mercado mayorista de energía, y que conecta estos con las redes generales de distribución.

**Huella de Carbono:** La medida de la cantidad total de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero de una población definida, sistema o actividad, considerando todas las fuentes, sumideros y almacenamientos relevantes dentro de los límites espaciales y temporales de una población, sistema o actividad de interés. Se calcula utilizando como referente el potencial de calentamiento global del dióxido de carbono. (Segob, 2015)

**Intensidad energética-** cantidad de energía que se requiere para lograr un valor monetario producido en un país.

**Interconexión-** La interconexión de sistemas eléctricos es la unión de las potencias eléctricas de distintos centros generadores de energías en una sola red que al mismo tiempo permite el abasto de este tipo de energía a demandantes de los mercados de los sistemas eléctricos participantes.

**Internet of things-** “Interconexión de red de objetos diarios, los cuales comúnmente están equipados con una inteligencia ubicua.” (Xiao, 2012)

**Net billing-** “metodología de contraprestación que considera los flujos de energía eléctrica recibidos y entregados desde y hacia las Redes Generales de Distribución, y les asigna un valor que puede variar a la compra y a la venta.” (CRE, 2017 b)

**Net metering-** “metodología de contraprestación que considera los flujos de energía eléctrica recibidos y entregados desde y hacia las Redes Generales de Distribución compensando dichos flujos de energía eléctrica entre sí durante el periodo de facturación.” (CRE, 2017 b)

**Paneles solares-** “Cuando los fotones de luz de una longitud de onda adecuada inciden en la unión p- n<sup>47</sup> (positivo- negativo), pueden transferir su energía a algunos de los electrones del material, causando una corriente eléctrica que fluye por toda la unión.” (Moselle, 2010, p. 40)

---

<sup>47</sup> Unión positivo- negativo de los semiconductores, cuando a la placa, cuya construcción normalmente se realiza en silicio, se le agregan pequeñas impurezas que dotan de exceso o falta de electrones.

**Paridad de red-** Punto en el que el precio de generación del sistema de generación distribuida iguala el precio ofrecido por la red general, considerándose el consumo inmediato del recurso generado.

**Potencia-** Tasa a la cual la energía es transformada o transmitida en una unidad de tiempo. La potencia es un flujo y es medida como la cantidad de energía en un periodo. Una unidad de medida de la potencia estandarizada es el kiloWatt hora por día (kWh/d) que equivale a una potencia de 41 Watts.

**Red eléctrica-** “Sistema integrado por líneas, subestaciones y equipos de transformación, compensación, protección, conmutación, medición, comunicación y operación entre otros, que permiten la transmisión y distribución de energía eléctrica.” (SENER, 2014)

**Red inteligente (Smart grid)-** Redes de comunicación inmediata que permiten el manejo, el mantenimiento y el monitoreo de diferentes sistemas con el fin del mejoramiento de la eficiencia de este y su automatización.

**Sistema eléctrico-** Es la red eléctrica que relaciona diferentes oferentes y demandantes dentro de un territorio. Dado que el contenido eléctrico es homogéneo dentro de la red a pesar de los diferenciales en el flujo de los oferentes, este producto puede ser consumido de igual forma entre los demandantes participantes en el sistema. Sin embargo, en cuestión de mercado, los precios y tarifas con las que este sistema suministra a los demandantes varía dependiendo de las características del consumo, las cantidades e incluso las regiones de estos.

Según la ley mexicana, el sistema eléctrico (sistema eléctrico nacional) comprende de los siguientes elementos:

- a) “La red nacional de transmisión
- b) Las redes generales de distribución
- c) Las centrales eléctricas que entregan energía eléctrica a la red nacional de transmisión o las redes generales de distribución
- d) Los equipos e instalaciones del CENACE utilizados para llevar a cabo el control operativo del sistema eléctrico nacional; y
- e) Los demás elementos que señale la secretaria (de energía).” (SENER, 2014)

**Sistema solar fotovoltaico-** “sistema integrado por distintos elementos que interactúan entre sí para la conversión de la energía solar a energía eléctrica, los componentes del sistema solar fotovoltaico son los paneles, controlador, baterías e inversor.” (Cardozo, 2014)

**Suministrador de servicios básicos-** Persona moral que ofrece el suministro eléctrico. Permisionario conforme a la Ley de la Industria eléctrica.

**Tecnologías de energía renovable.** – “Son aquellas tecnologías que permiten aprovechar flujos de energía renovable que se reponen constantemente para producir energía eléctrica en formas útiles a la humanidad de forma sostenible.” (Boyle, 2010)

**Tecnologías Inteligentes:** “Las tecnologías utilizadas en las Redes Eléctricas Inteligentes que involucran procesos en tiempo real, automatizados o interactivos para optimizar la operación de la Red Nacional de Transmisión y de las Redes Generales de Distribución, así como los aparatos y equipos inteligentes de los usuarios.” (Segob, 2015)

**Transición energética-** Se refiere al cambio en el sistema eléctrico nacional (el cual comprende generación, transmisión, distribución y consumo) con base en el uso progresivo de las tecnologías limpias y renovables, y la transformación en otros puntos de la cadena y de la base institucional que las sustenta.

Los objetivos de esta política se señalan en el artículo dos de la Ley de Transición Energética:

**I.** “Prever el incremento gradual de la participación de las Energías Limpias en la Industria Eléctrica con el objetivo de cumplir las metas establecidas en materia de generación de energías limpias y de reducción de emisiones;

**II.** Facilitar el cumplimiento de las metas de Energías Limpias y Eficiencia Energética establecidos en esta Ley de una manera económicamente viable;

**III.** Incorporar las externalidades en la evaluación de los costos asociados a la operación y expansión de la Industria Eléctrica, incluidos aquellos sobre la salud y el medio ambiente;

**IV.** Determinar las obligaciones en materia de aprovechamiento sustentable de la energía y Eficiencia Energética;

**V.** Establecer mecanismos de promoción de energías limpias y reducción de emisiones contaminantes;

**VI.** Reducir, bajo condiciones de viabilidad económica, la generación de emisiones contaminantes en la generación de energía eléctrica;

**VII.** Apoyar el objetivo de la Ley General de Cambio Climático, relacionado con las metas de reducción de emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero y de generación de electricidad provenientes de fuentes de energía limpia;

**VIII.** Promover el aprovechamiento sustentable de la energía en el consumo final y los procesos de transformación de la energía;

**IX.** Promover el aprovechamiento energético de recursos renovables y de los residuos, y

**X.** Las obligaciones establecidas en el artículo anterior deberán ser homologadas a los productos consumidos en el territorio nacional, independientemente de su origen.” (Segob, 2015)

**Transformación de la energía-** Al igual que los sistemas biológicos de los seres vivos (incluidos los humanos), es necesario el uso de la energía en la producción de los sistemas económicos de los países.

A pesar de existir una gran cantidad de energía en el planeta, no toda ella es útil. La producción humana requiere de transformar la energía a formas consumibles por las maquinas que utilizamos. Las energías más útiles para ello son aquellas que se encuentran a mayor temperatura (baja entropía).

Cuando llevamos a cabo la transformación de fuentes energéticas a alguna forma de energía útil para la producción, una parte del contenido energético de la fuente no puede ser utilizado mientras otra sí, entonces existe una tasa de conversión de la energía que depende de la eficiencia de la transformación de la energía. Por ejemplo, una planta eléctrica que utiliza como fuente principal el combustóleo tiene una tasa de transformación menor que una planta que utiliza como fuente energética el gas natural por causa de la eficiencia de cada compuesto.

**Trayectoria tecnológica-** “... evolución del desarrollo tecnológico de un bien o servicio.”

Las directrices tecnológicas que se concretan en el mercado son solo una porción de los inventos, la selección en el mercado de las innovaciones se da por el entorno institucional; es decir que las innovaciones exitosas son aquellas mejor adaptas o más fácil de adaptar en el ambiente institucional donde se implementan.

**Venta total de energía-** “metodología de contraprestación que considera el flujo de energía eléctrica entregada hacia las Redes Generales de Distribución, al cual se le asigna un valor de venta.” (CRE, 2017 b)

**Watt pico-** Es la generación nominal de un panel fotovoltaico bajo determinadas condiciones climáticas específicas.

## Anexo estadístico de energía eléctrica y de adopción de energía fotovoltaica en México

Cuadro 1. Resultados de energía solar en las subastas de energía limpia de Secretaría de Energía

Año	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Generación total	263249.5	269299.7	267753.6	275567.4	292143.2	296396	297117.8	303315.8	310349.6
Servicio Público Nacional	159946	159865	156974.9	162807.5	174211.7	179021.7	172767.2	172541.4	171984.2
Importación	334.4783	395.8283	385.4748	436.491	655.3137	2342.332	1650.485	2539.252	2442.942
Servicio por particulares	72607	76007	78131	79728.85	85195.56	83219.44	85845.46	87596.44	90491.09
Autoabastecimiento, cogeneración y excedentes	30696.54	33427.75	32647.71	33031.01	32735.96	34154.82	38505.21	43177.97	47874.34
Usos y ventas totales	255925.6	261294.5	260300	269942.9	286617.1	292156.6	291412.8	296451.4	303632.4
Ventas nacionales sin exportación	202469.5	207236.3	205255.4	212774.2	227354.7	233306.5	235140.8	241196.7	248738.7
Sector industrial	127472.5	129740.1	124200.4	132712.4	140917.1	146118.6	147390.1	147528.1	149992.1
Sector residencial	45835	47451	49213	49407	52505	52771	53094.22	54617.48	56596.51
Sector comercial	13459.17	13750.06	13627.97	13139.68	13745.09	14078.3	13911.41	18875.03	21958.34
Sector agrícola	7804.943	8110.015	9301.16	8601.499	10975.92	10820.54	10285.53	10032.54	10067.36
Sector servicios	6809	7074	7803	7723	8089	8388	9285.261	8998.494	8990.811
Exportación	7658.44	8401.07	7839.044	6060.983	6181.45	6581.7	7355.529	9403.69	9160.232
Pérdidas	40504	41409	42452	44252	45602	44050	42520.1	41321.52	40639.93
Usos propios de generación, transmisión y distribución	11252	10763	10833	11088	11909	N/D	N/D	N/D	N/D
Autoabastecimiento a cargas remotas	9846	9832	9786	11899	11871	N/D	N/D	N/D	N/D

Fuente: Elaboración propia con datos de Santiago & Sinclair LLC (2017) en Ganadores de subastas, solares y eólicos, firman contratos (2017) n/a, 14(79)

Cuadro 2 Balance de energía eléctrica (GWh)

	No. Empresas	Capacidad total (MW)	Capacidad promedio (MW)	Precio promedio USD/MWh
1er subasta	7	2191	182.58	39.96
2da subasta	12	1574	92.58	36.12
Cambio	5	-617	-89.99	-3.83

Fuente Elaboración propia con datos del Sistema de información energética <http://sie.energia.gob.mx>



Cuadro 3 Infraestructura para la generación y distribución de electricidad (miles de pesos)

Año	Sector Privado	Sector Público
2008	4,506,848	10,371,330
2009	3,067,730	16,302,246
2010	2,673,789	20,246,468
2011	3,382,036	21,608,068
2012	4,024,065	19,073,488
2013	4,546,401	18,935,755
2014	4,828,729	15,487,142
2015	8,393,247	12,871,915
2016	7,960,722	19,012,518

Fuente Elaboración propia con datos de INEGI <http://www.inegi.org.mx/sistemas/bie>

Cuadro 4 Capacidad instalada de generación eléctrica (MW)

Descripción	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Total	51,105.470	51,686.090	52,945.426	51,931.186	52,538.936	53,496.548	54,379.325	54,852.536	55,559.456	55,781.187
Termoeléctrica	32,647.590	33,188.210	33,649.208	32,761.708	32,637.773	33,782.420	33,915.647	34,357.588	34,901.983	35,090.714
Vapor	12,865.100	12,895.100	12,876.100	12,336.100	11,698.600	11,698.603	11,398.600	11,398.600	11,281.600	11,281.600
Ciclo combinado	16,913.160	17,572.280	18,022.283	18,029.283	18,029.283	19,760.191	19,906.482	19,918.173	20,530.442	20,823.073
CFE	5,456.260	6,115.380	6,115.383	6,122.383	6,122.383	7,420.291	7,566.582	7,578.273	8,190.542	8,189.173
PIE	11,456.900	11,456.900	11,906.900	11,906.900	11,906.900	12,339.900	12,339.900	12,339.900	12,339.900	12,633.900
Turbogas	2,653.210	2,504.710	2,536.710	2,185.410	2,658.075	2,064.411	2,303.410	2,739.410	2,736.510	2,630.510
Combustión interna	216.120	216.120	214.115	210.915	251.815	259.215	307.155	301.405	353.431	355.531
Dual	2,100.000	2,100.000	2,778.360	2,778.360	2,778.360	2,778.360	2,778.360	0.000	0.000	0.000
Carboeléctrica	2,600.000	2,600.000	2,600.000	2,600.000	2,600.000	2,600.000	2,600.000	5,378.360	5,378.360	5,378.360
Nucleoeléctrica	1,364.880	1,364.880	1,364.880	1,364.880	1,610.000	1,400.000	1,400.000	1,510.000	1,608.000	1,608.000

Geotérmica	964.500	964.500	964.500	886.600	811.600	823.400	813.400	873.600	873.600	873.600
Eólica	85.250	85.250	85.250	86.750	597.600	597.600	597.150	699.150	699.150	699.150
CFE	85.250	85.250	85.250	86.750	86.750	86.750	86.300	86.300	86.300	86.300
PIE	0.000	0.000	0.000	0.000	510.850	510.850	510.850	612.850	612.850	612.850
Hidroeléctrica	11,343.250	11,383.250	11,503.228	11,452.888	11,497.603	11,508.768	12,268.768	12,027.838	12,092.363	12,125.363
Fotovoltaica	N/D	N/D	N/D	N/D	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000

Fuente Elaboración propia con datos de Sistema de información energética <http://sie.energia.gob.mx>

### Cuadro 5 Generación efectiva por tecnología (MWh)

Descripción	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
<b>Total</b>	234,096,292.462	233,471,637.740	241,490,894.834	257,883,545.484	260,497,832.126	257,860,107.018	258,255,774.321	261,066,828.121	263,152,827.965
<b>Termoeléctrica</b>	153,417,458.872	160,351,866.130	160,025,505.804	171,580,247.816	178,890,728.857	179,091,285.477	168,731,530.379	177,148,877.877	180,732,357.142
Vapor	43,325,395.000	43,111,720.760	40,569,621.978	47,868,928.077	53,917,755.538	47,166,776.830	33,480,816.914	35,673,222.365	36,833,999.933
<b>Ciclo combinado</b>	106,055,787.812	112,264,458.310	114,817,553.001	118,454,541.521	117,606,004.167	126,583,375.717	130,907,363.002	134,486,621.642	136,123,691.247
CFE	31,823,745.010	35,768,151.650	36,375,560.546	34,448,790.259	37,431,016.667	43,114,952.793	47,057,365.847	47,513,325.337	49,962,822.268
PIE (1)	74,232,042.802	76,496,306.660	78,441,992.455	84,005,751.262	80,174,987.500	83,468,422.924	83,849,997.155	86,973,296.305	86,160,868.979
Turbogas	2,802,433.200	3,735,157.640	3,396,011.616	4,125,470.122	6,216,616.472	3,842,145.038	2,877,626.467	5,281,092.040	5,893,068.009
Combustión interna	1,233,842.860	1,240,529.420	1,242,319.209	1,131,308.096	1,150,352.680	1,498,987.892	1,465,723.996	1,707,941.830	1,881,597.953
Dual	6,883,310.960	12,298,605.950	15,577,758.081	15,395,878.874	16,233,964.031	15,583,717.611	16,166,989.736	3,475,166.681	0.000
Carboeléctrica	17,789,140.470	16,886,209.670	16,485,075.945	18,158,430.521	17,724,103.145	16,044,399.998	17,445,926.682	30,124,020.546	34,208,204.572
Geotermoléctrica	7,055,759.840	6,739,666.130	6,618,460.157	6,506,614.329	5,816,642.183	6,069,717.305	5,999,650.983	6,291,153.990	6,032,801.411
Nucleoeléctrica	9,803,976.280	10,501,078.900	5,879,240.639	10,089,195.025	8,769,598.816	11,799,869.613	9,677,208.057	11,577,137.865	10,567,174.251
<b>Eólica</b>	254,613.310	249,246.810	166,391.975	357,282.677	1,744,144.413	1,813,889.620	2,077,000.412	2,386,946.450	2,461,542.146
CFE	254,613.310	249,246.810	166,391.975	105,680.831	187,956.067	189,611.222	212,649.157	202,923.974	187,041.007
PIE (1)	0.000	0.000	0.000	251,601.846	1,556,188.346	1,624,278.398	1,864,351.255	2,184,022.476	2,274,501.140
Hidroeléctrica	38,892,032.730	26,444,964.150	36,738,462.233	35,795,896.242	31,316,574.257	27,444,133.132	38,144,773.862	30,050,767.845	29,138,395.624

Fuente Elaboración propia con datos del Sistema de información energética <http://sie.energia.gob.mx>

Cuadro 6 Capacidad efectiva de energías renovables CFE y LFC

Descripción	1/2007	1/2008	1/2009	1/2010	1/2011	1/2012	1/2013	1/2014	1/2015	1/2016	1/2017
Total	12,388.31	12,393.00	12,433.00	12,552.97	12,426.23	12,912.80	12,935.76	13,685.31	13,606.58	13,671.11	13,704.11
Geotérmica	959.500	964.500	964.500	964.500	886.600	811.600	823.400	813.400	873.600	873.600	873.600
Eólica	85.480	85.250	85.250	85.250	86.750	597.600	597.600	597.150	699.150	699.150	699.150
CFE	85.480	85.250	85.250	85.250	86.750	86.750	86.750	86.300	86.300	86.300	86.300
PIE	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	510.850	510.850	510.850	612.850	612.850	612.850
Fotovoltaica	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000

Fuente Elaboración propia con datos del Sistema de información energética <http://sie.energia.gob.mx>

Cuadro 7 Generación bruta de energías renovables CFE y LFC

Descripción	1/2007	1/2008	1/2009	1/2010	1/2011	1/2012	1/2013	1/2014	1/2015	1/2016	1/2017
Total	34,694,438.64	46,202,405.880	33,433,877.090	43,523,314.365	42,659,793.248	38,879,437.277	35,340,834.319	46,234,119.467	38,741,625.152	37,645,092.000	21,249,450.724
Geotérmica	7,403,854.21	7,055,759.840	6,739,666.130	6,618,460.157	6,506,614.329	5,816,642.183	6,069,717.305	5,999,650.983	6,291,153.990	6,032,801.411	3,539,226.141
Eólica	248,432,380	254,613,310	249,246.810	166,391.975	357,282.677	1,744,144.413	1,813,889.620	2,077,000.412	2,386,946.450	2,461,542.146	1,130,614.413
CFE	248,432,380	254,613,310	249,246.810	166,391.975	105,680.831	187,956.067	189,611.222	212,649.157	202,923.974	187,041.007	68,071.763
PIE	0.000	0.000	0.000	0.000	251,601.846	1,556,188.346	1,624,278.398	1,864,351.255	2,184,022.476	2,274,501.140	1,062,542.650
Fotovoltaica	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2,076.424	13,094.26	12,694.21	12,756.86	12,352.81	6,949.94

Fuente Elaboración propia con datos del Sistema de información energética <http://sie.energia.gob.mx>

Cuadro 8. Balance Nacional de Energía Solar (petajoules)<sup>48</sup>

Descripción	2013	2014	2015
Producción	7.596	8.735	10.153
Oferta	7.596	8.735	10.153
Diferencia estadística	-0.360	-0.671	-0.728
Demanda	7.236	8.064	9.425
Consumo final total	7.236	8.064	9.425
Consumo final energético	7.236	8.064	9.425
Sector comercial	2.819	3.124	3.635
Sector residencial	4.036	4.525	5.291
Sector industrial	0.381	0.415	0.499

Fuente Elaboración propia con datos del Sistema de información energética <http://sie.energia.gob.mx>

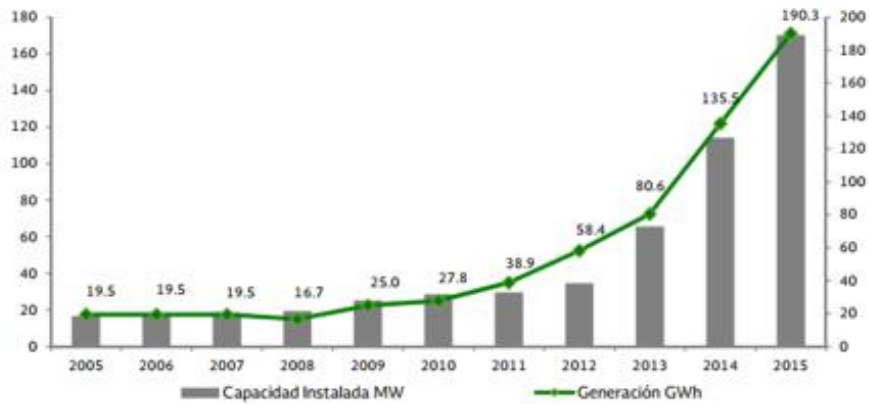
Cuadro 9. Transformación de energía solar por tipo de centro de generación

Tipo de central	2013	2014	2015
Central eléctrica	0.047	0.046	0.046
Central eléctrica de autogeneración	0.313	0.625	0.682

Fuente Elaboración propia con datos del Sistema de información energética <http://sie.energia.gob.mx>

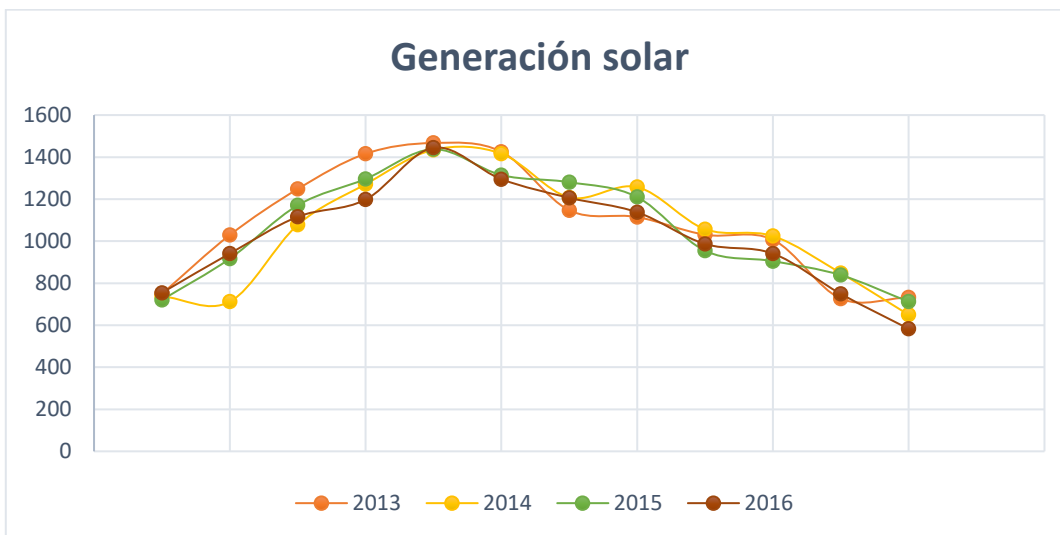
<sup>48</sup> No se encontraron datos para años posteriores, octubre 2017. 1 petajoule es igual a 277 GWh

Figura 1. Capacidad efectiva instalada y generación bruta de centrales solares



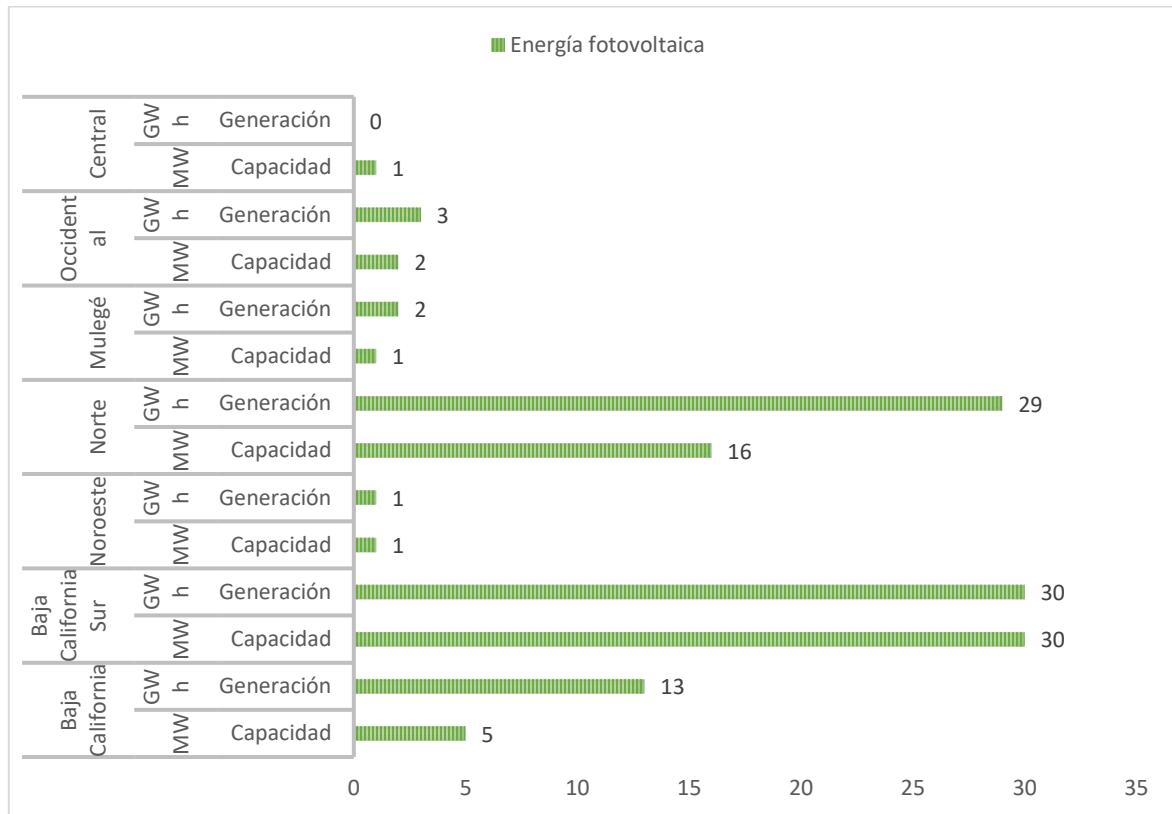
Fuente Secretaría de Energía a (2016) Prospectiva de Energías Renovables, p. 57

Figura 2. Generación bruta fotovoltaica por mes del año 2013- 2016 (MWh)



Fuente Elaboración propia con datos del Sistema de información energética <http://sie.energia.gob>

Figura 3. Capacidad y generación de electricidad de energía fotovoltaica por área de control (MW)



Fuente Elaboración propia con información de la Secretaría de Energía a (2016) Prospectiva de Energías Renovables

Cuadro 10. Proyección en el incremento de la participación de energías limpias 2015 y 2030 (MW)

Fuente energética	2015	2030
Hidroeléctrica	12,489	16,976
Eólica	2,805	15,101
Cogeneración eficiente	583	7,627
Solar	56	6,905
Ciclo combinado	24,043	42,643

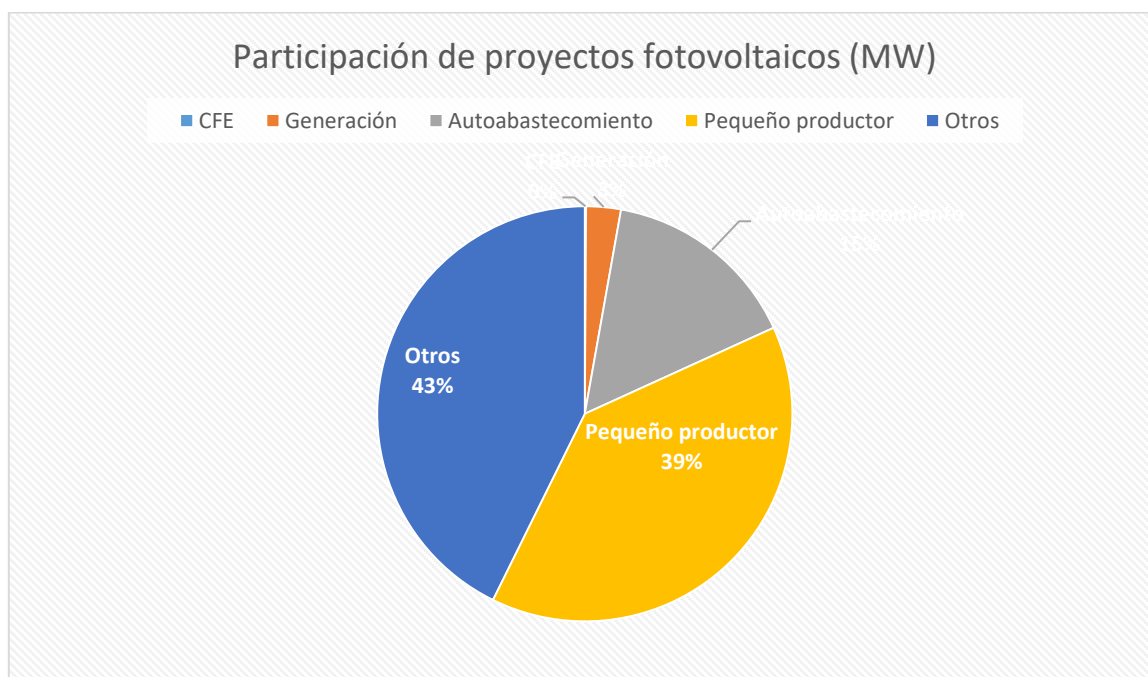
Fuente Comisión Reguladora de Energía (2016) Generación distribuida en México Perspectivas sobre el mercado actual y su crecimiento

Cuadro 11. Potencial aprovechable de energías limpias en México, escenarios uno y cuatro

Energía	Capacidad instalada (MW)		Potencial de generación (GWh/a)		Emisión de CO2 evitadas	
Solar fijo	1171881	462279	2121803	837560	963299	380252
Solar seguimiento	837537	334131	2077997	836030	943411	379557
Eólica	583200	29744	1486713	750186	674967	340584
Geotérmica	174	125	1373	986	623	448
Biomasa	1097	-	7684	-	3493	-

Fuente generación propia con datos de Secretaría de Energía (2017) Atlas de zonas con energías limpias (AZEL)

Figura 4. Prospectiva de crecimiento de energía fotovoltaica por modalidad de proyecto 2016-2030 (MW)



Fuente Generación propia con datos de Secretaría de Energía a (2016) Prospectiva de Energías Renovables

## Bibliografía de anexos

Almanza Rafael (s.f.) Diccionario técnico corregido y aumentado de términos utilizados en energía solar, Instituto de Ingeniería, UNAM, consultado en [http://www.anes.org/cms/contenido/docs/DiccionarioSolar\\_31\\_03\\_2016.pdf](http://www.anes.org/cms/contenido/docs/DiccionarioSolar_31_03_2016.pdf)

Asamblea Constituyente de la Ciudad de México (2017) Constitución política de la Ciudad de México consultado en <http://gaceta.diputados.gob.mx/ACCM/GP/20170130-AA.pdf>

Boyle Godfrey (2010) Capítulo 2. “Tecnologías de energía renovable para la generación de electricidad”, en Electricidad verde. Energías renovables y sistema eléctrico Moselle Boaz, Padilla Jorge, Schmalensee Richard (editores), España, Marcial Pons editorial

British Petroleum (2016) BP Statistical Review of World Energy, 65 edición, Junio 2016, consultado en <http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/statistical-review-2016/bp-statistical-review-of-world-energy-2016-full-report.pdf>

Cardozo Piña Alberto (2014) Cálculo y diseño de sistema solar fotovoltaico para uso doméstico, tesina para obtener el título de especialista en construcción urbana, Universidad Nacional Autónoma de México, Programa único de especializaciones de ingeniería, México D.F., junio 2014 consultado en

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/6924/TESINA.pdf?sequence=1>

Comisión Federal de Electricidad (06/03/2017) Requisitos técnicos para la interconexión de fuentes distribuidas de generación en pequeña escala, Consultado en

[http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/Desarrollo\\_Sustentable/Lists/Energia%20renovable/Attachments/5/Especificacionest%C3%A9nicasPeque%C3%B1aEscala.pdf](http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/Desarrollo_Sustentable/Lists/Energia%20renovable/Attachments/5/Especificacionest%C3%A9nicasPeque%C3%B1aEscala.pdf)

Intergovernmental Panel on Climate Change (1995) Glosario IPCC, consultado en <https://www.ipcc.ch/pdf/glossary/ipcc-glossary.pdf>

Gipe Paul (2004) *Wind Power Energy for Home Farm and Business EEUU*, Chelsea Green Publishing Company

Mackay David (2009) *Sustainable energy. Without Hot Air*, Inglaterra, UIT Cambridge Ltd

Moselle Boaz, Padilla Jorge, Schmalensee Richard (editores) (2010) *Electricidad verde. Energías renovables y Sistema eléctrico*, Marcial Pons Ediciones Jurídicas y Sociales S. A., España

Ngô Christian (2008) *Energy. Resources, Technologies and the Environment*, tercera edición, Paris Francia, The Institution of Engineering and Technology

Secretaría de Gobernación (11/08/2014) Ley de la industria eléctrica en Diario Oficial de la Nación, consultado en [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5355986&fecha=11/08/2014](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5355986&fecha=11/08/2014)



Secretaría de Gobernación (24/12/2015) Ley de transición energética en Diario Oficial de la Nación, consultado en [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5421295&fecha=24/12/2015](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5421295&fecha=24/12/2015)

Xia F., Yang L.T., Wang L., Vinel A. (2012) Internet of Things, International Journal of Communication Systems 25:1101–1102 DOI: 10.1002/dac.2417

## Bibliografía

Administración Pública de la Ciudad de México (05/02/2017) Constitución Política de la Ciudad de México, México, CDMX consultado en <http://www.cdmx.gob.mx/storage/app/uploads/public/59a/588/5d9/59a5885d9b2c7133832865.pdf>

Asociación de bancos de México (2017) Mercado de energía fotovoltaica de baja escala. Generación distribuida, consultado en [https://www.abm.org.mx/descargas/Paneles\\_Solares\\_2017.pdf](https://www.abm.org.mx/descargas/Paneles_Solares_2017.pdf)

Base de datos de gobierno consultado en <https://datos.gob.mx/>

Beatley Timoty (2007) Envisioning Solar Cities: Urban Futures Powered By Sustainable Energy, Journal of Urban Technology DOI: [10.1080/10630730701531682](https://doi.org/10.1080/10630730701531682)

British Petroleum (2016) BP Statistical Review of World Energy, 65 edición, Junio 2016, consultado en <http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/statistical-review-2016/bp-statistical-review-of-world-energy-2016-full-report.pdf>

Bouskela, et al., Maurício, Casseb Márcia, Bassi Silvia, De Luca Cristina, Facchina Marcelo (2016) La ruta hacia las *Smart Cities*: Migrando de una gestión tradicional a la ciudad inteligente, Banco Interamericano de Desarrollo (BID), consultado en <https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/7743/La-ruta-hacia-las-smart-cities-Migrando-de-una-gestion-tradicional-a-la-ciudad-inteligente.pdf>

Cardozo Piña Alberto (2014) Cálculo y diseño de sistema solar fotovoltaico para uso doméstico, tesina para obtener el título de especialista en construcción urbana, Universidad Nacional Autónoma de México, Programa único de especializaciones de ingeniería, México D.F., junio 2014 consultado en

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/6924/TESINA.pdf?sequence=1>

Comisión Federal de Electricidad (2007) Programa de obras e inversiones del sector eléctrico consultado en

[http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/1\\_AcercadeCFE/Lists/POISE%20documentos/Attachments/6/POISE20072016jun.pdf](http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/1_AcercadeCFE/Lists/POISE%20documentos/Attachments/6/POISE20072016jun.pdf)

Comisión Federal de Electricidad (06/03/2017) Requisitos técnicos para la interconexión de fuentes distribuidas de generación en pequeña escala, Consultado en

[http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/Desarrollo\\_Sustentable/Lists/Energia%20renovable/Attachments/5/Especificacionest%C3%A9nicasPeque%C3%B1aEscala.pdf](http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/Desarrollo_Sustentable/Lists/Energia%20renovable/Attachments/5/Especificacionest%C3%A9nicasPeque%C3%B1aEscala.pdf)

Comisión Reguladora de Energía (2016) Generación distribuida en México. Perspectivas sobre el mercado actual y estimación sobre su crecimiento, consultado en [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/173806/Mtro. Martin Llerena Engesser - Director de Redes Eléctricas Inteligentes - CRE - Generación Distribuida en México.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/173806/Mtro._Martin_Llerena_Engesser_-_Director_de_Reddes_Electricas_Inteligentes_-_CRE_-_Generación_Distribuida_en_México.pdf)

Comisión Reguladora de Energía (2017) Contratos de interconexión en pequeña y mediana escala. Estadísticas ejercicio 2017 (primer trimestre), consultado en [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257978/CIPME Estadísticas 2017 1er semestre .pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257978/CIPME_Estadísticas_2017_1er_semestre.pdf)

Comisión Reguladora de Energía (2017) Método de cálculo de contraprestación que aplicará el Suministrador de Servicios Básicos por la energía que ofrezcan los Generadores Exentos (Anexo), consultado en

[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/207447/a. Contrato que celebran el Suministrador de Servicios Básicos y el Generador Exento para determinar la contraprestación aplicable por la energía eléctrica.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/207447/a._Contrato_que_celebran_el_Suministrador_de_Servicios_Básicos_y_el_Generador_Exento_para_determinar_la_contraprestación_aplicable_por_la_energía_eléctrica.pdf)

Delgado Ramos Gian Carlo, De Luca Zuria Ana, Vázquez Zentella Verónica (2015) Adaptación y mitigación urbana del cambio climático en México, PICC, UNAM, México consultado en [http://www.pincc.unam.mx/DOCUMENTOS/Adaptación Urbana.pdf](http://www.pincc.unam.mx/DOCUMENTOS/Adaptación_Urbana.pdf)

DNV GL (2016) *Technology Outlook 2025*, Høvik, Noruega

Dosi Giovanni (1988) *Sources, Procedures and Microeconomic Effects of Innovation*, publicado en Journal of Economic Literature, Vol. XXVI (Sept. 1988). Consultado en <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/273987.pdf> (08/03/2017)

Economic Commission for Europe (1990) *Solar Power Systems*, The ECE Energy Series, Nueva York, EE. UU.

Fernández Güell José Miguel (2015) Ciudades inteligentes La mitigación de las nuevas tecnologías como respuesta a los retos de las ciudades contemporáneas, Universidad Politécnica de Madrid consultado en <http://oa.upm.es/40941/>

García García, Antonio, et al. (2007) “Hacia una nueva lectura de las ciudades y sus espacios: ausencias y emergencias en la ciudad inteligente” en Espacios públicos, ciudades y conjuntos históricos García García, A. (coordinador), Instituto de Patrimonio, Sevilla España

Garí Manuel, Arregui Guillermo, Cadela José, Estrada Bruno, et al. (2011) Empleo asociado a las energías renovables Estudio técnico per 2011- 2020, Instituto para la diversificación y ahorro de la energía, Madrid, España, consultado en [http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_11227\\_e5\\_empleo\\_A\\_08df7cbc.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11227_e5_empleo_A_08df7cbc.pdf)

Gil García Gregorio (2008) Energías del siglo xxi. De las energías fósiles a las alternativas, ediciones Mundi- Prensa, Madrid, España

Giménez Gilberto (1999) Territorio, culturas e identidades. La región socio- cultural, Época II, vol. V No. 9, Colima, México, pp. 25- 57

Guajardo Soto, Guillermo Agustin; Salas, Fernando y Vázquez, Daniel (2010) Energía, infraestructura y crecimiento, 1930-2008 (pp. 667- 704) En Historia económica general de México. De la colonia a nuestros días, Kuntz Ficker Sandra (Coord.) El Colegio de México, México D.F.

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2013) Inventario de gases y compuestos de efecto invernadero, México, consultado en [http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/2015\\_inv\\_nal\\_emis\\_gei\\_result.pdf](http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/2015_inv_nal_emis_gei_result.pdf)

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2017) Comunicado de prensa número 392/17. Presenta INEGI los resultados de una nueva serie de la encuesta nacional de ingresos y gastos de los hogares (ENIGH) 2016, consultado en [http://www.inegi.org.mx/saladeprensa/boletines/2017/enigh/enigh\\_08.pdf](http://www.inegi.org.mx/saladeprensa/boletines/2017/enigh/enigh_08.pdf)

Instituto Federal de Comunicaciones (2015) Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de las Tecnologías de la Información en los Hogares consultado en <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/contenidogeneral/estadisticas/analisisobrelosresultadosdeendutih2015.pdf>

Intergovernmental Panel on Climate Change (2012) *Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*, Cambridge University Press, New York, consultado en [http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/SRREN\\_Full\\_Report.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/SRREN_Full_Report.pdf)

International Energy Agency (2017) *Tracking Clean Energy Progress 2017*, OECD/ IEA, consultado en <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TrackingCleanEnergyProgress2017.pdf>

Kock Beaudry (2012) *Slow Money for Soft Energy: Lessons for Energy Finance from the Slow Money Movement*, *Ambio*, Vol. 41, No. 8 (Diciembre 2012), pp. 900- 903, Springer on Behalf of Royal Swedish Academy of Science, <http://www.jstor.org/stable/23322919>

Mallett Alexandra (2007) *Social acceptance of renewable energy innovations: The role of technology cooperation in urban Mexico*, *Energy Policy* Vol. 35 No. 5 consultado en <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2006.12.008>

Mayer Johannes N., Philipps Simon, Saad Hussein Noha, et al. (2015) *Studie: Current and Future Cost of Photovoltaics*, Fraunhofer ISE, consultado en [https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/AgoraEnergiewende\\_Current\\_and\\_Future\\_Cost\\_of\\_PV\\_Feb2015\\_web.pdf](https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/AgoraEnergiewende_Current_and_Future_Cost_of_PV_Feb2015_web.pdf)

Mackay David (2009) *Sustainable energy. Without Hot Air*, UIT Cambridge Ltd, Inglaterra

Medrano Vaca Consolación, Agredano Díaz Jaime, Huacuz Villamar Jorge, Guillén Solís Omar (2007) Estado del arte del arte de la medición neta para microgeneración domiciliar y de códigos de red para centrales eólicas consultado en <http://www.cre.gob.mx/estudios/ae0107.pdf>

Morillon David (2012) Edificación Sustentable en Segunda Semana Verde, congreso llevado a cabo en Ciudad de México, México

Morse Jay (1997) *Regulatory Policy Regarding Distributed Generation by Utilities: The Impact of Restructuring*, The Energy Journal, Vol. 18, Special Issue: Distributed Resources: Toward a New Paradigm of the Electricity Business (1997), pp. 187-210, International Association for Energy Economics, consultado en <http://www.jstor.org/stable/23296898>

Moselle Boaz, Padilla Jorge, Schmalensee Richard (editores) (2010) *Electricidad verde. Energías renovables y Sistema eléctrico*, Marcial Pons Ediciones jurídicas y sociales, S. A., España

Mulder, K. (2007) *Innovation for Sustainable Development: from environmental design to transition management. Integrated Research System for Sustainability Science* and Springer 2:253-263 DOI 10.1007/s11625-007-0036-7

N/A (2017), "Ganadores de subastas, solares y eólicos, firman contratos" en *Energía a Debate*, 14(79), Ciudad de México, México

N/A (23/01/2018), 'Balance neto en América Latina: la historia imparables' en *Energías Renovables*, consultado en <https://www.energias-renovables.com/panorama/balance-neto-en-america-latina-la-historia-20171031>

Ngô Christian (2008) *Energy. Resources*, tercera edición, Technologies and the Environment, The Institution of Engineering and Technology Paris, Francia

Organización para la cooperación y desarrollo económicos (2014) *OCDE Studies on Environmental Innovation. Better Policies to Support Eco- Innovation* (Cuevas, G.) México, UAM; (trabajo original publicado en 2011)

Otero Salas Filiberto (s/f) *El servicio público de energía eléctrica en México y las actividades no consideradas como tal*, Instituto de Investigaciones Jurídicas de la UNAM consultado en <http://biblio.juridicas.unam.mx/libros/6/2654/11.pdf>

Quintanilla Martínez Juan (editor) (1991) *Primera reunión internacional sobre energía y medio ambiente en el sector residencial en México*, Universidad Nacional Autónoma de México-University of California

Rodríguez Padilla Víctor (2016) *Industria eléctrica en México: tensión entre el Estado y el mercado abril-junio 2016*, *Revista Problemas del Desarrollo*, 185 (47), consultado en <http://probdes.iiiec.unam.mx> Fecha de recepción: 12 de agosto de 2015. Fecha de aceptación: 18 de noviembre de 2015.

Adolfo Sánchez (coordinador), *Calidad de vida en la Zona Metropolitana del Valle de México. Hacia la justicia socioespacial*, IIEc, DGAPA, PAPIIT IN302014, UNAM, 2016

Sánchez Peña, Landy (2012) *Hogares y consumo energético en México, octubre 2012*, *Revista Digital Universitaria*, 13(10), consultado en <http://www.revista.unam.mx/vol.13/num10/art101/index.html>

Secretaría de Energía (2014) *Informe pormenorizado del desempeño y las tendencias de la industria eléctrica*, consultado en [http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/150564/Informe\\_desempe\\_o\\_y\\_tendencias\\_de\\_la\\_Industria\\_Electrica\\_2014\\_FINAL\\_2.pdf](http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/150564/Informe_desempe_o_y_tendencias_de_la_Industria_Electrica_2014_FINAL_2.pdf)

Secretaría de Energía (2015) Balance Nacional de Energía 2015, México, consultado en [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/177621/Balance Nacional de Energía 2015.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/177621/Balance_Nacional_de_Energia_2015.pdf)

Secretaría de Energía a (2016) Prospectiva de Energías Renovables, México, consultado en [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/177622/Prospectiva de Energías Renovables 2016-2030.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/177622/Prospectiva_de_Energias_Renovables_2016-2030.pdf)

Secretaría de Energía b (2016) Programa de redes eléctricas inteligentes, México, consultado en [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/90007/Programa de Redes Eléctricas Inteligentes 09 05 16.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/90007/Programa_de_Netes_Electricas_Inteligentes_09_05_16.pdf)

Secretaría Energía c (2016) Estrategia de Transición para promover el uso de tecnologías y combustibles más limpios, consultado en [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/182202/20161110 1300h Estrategia CTE-1.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/182202/20161110_1300h_Estrategia_CCTE-1.pdf)

Secretaría Energía d (2016) Programa de desarrollo del sistema eléctrico nacional 2016- 2030, consultado en [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/98308/PRODESEN-2016-2030 1.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/98308/PRODESEN-2016-2030_1.pdf)

Secretaria de Energía (2017) Atlas de Zonas con Energías Limpias consultado en <https://dgel.energia.gob.mx/AZEL/>

Secretaria de Energía b (2017) Primer análisis sobre los beneficios de la generación limpia distribuida y la eficiencia energética en México consultado en [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/201875/Beneficios de la GLD y EE en Mexico.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/201875/Beneficios_de_la_GLD_y_EE_en_Mexico.pdf)

Secretaria de Energía (31/05/2017) Programa Especial para la Transición Energética, Diario Oficial de la Federación, consultado en [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5484916&fecha=31/05/2017](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5484916&fecha=31/05/2017)

Storper Michael (2013) How Economics, Institutions, Social Interaction, and Politics Shape Development. Keys to the City, Princeton University Press, EE. UU.

Tinsa Research (2017) Informe de coyuntura inmobiliaria Zona metropolitana de la Ciudad de México, tercer trimestre de 2017 consultado en <https://www.tinsamexico.mx/wp-content/uploads/2017/10/NTC-ZMCDMX-3T2017.pdf>

Torres Reyes Ernestina (s.f.) Generación distribuida con energías renovables para el desarrollo regional sustentable (presentación), Asociación Nacional de Energía Solar, consultado en <http://cre.mx/documento/1529.pdf>

U.S. Department of Energy Office of Energy Efficiency and Renewable Energy (2004) *FV Facts What is the Energy Payback for FV?* consultado en <http://www.nrel.gov/docs/fy04osti/35489.pdf>

Wüestenhagen Rolf, Wolsink Maarten, Bürer Mary Jean (2007) *Social Acceptance of Renewable energy Innovation: an Introduction to the Concept*, Energy Policy 35, consultdo en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421506004824>

Xia F., Yang L.T., Wang L., Vinel A. (2012) *Internet of Things*, *International Journal of Communication Systems* 25:1101–1102 DOI: 10.1002/dac.2417