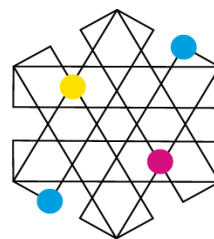




**UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA
METROPOLITANA**
Unidad Xochimilco



MEGI
MAESTRÍA EN ECONOMÍA, GESTIÓN
Y POLÍTICAS DE **INNOVACIÓN**

DIVISIÓN DE CIENCIAS SOCIALES Y HUMANIDADES

**Reforma Energética e Innovación Tecnológica en México:
el caso de la Industria Solar Fotovoltaica**

Idónea Comunicación de Resultados para obtener el grado de:
Maestro en Economía, Gestión y Políticas de Innovación

Presenta

Lic. Juan Carlos Luna González

Asesora

Dra. Graciela Carrillo González

Ciudad de México, a 17 de diciembre de 2018

*A mi esposa, Beatriz Díaz Villanueva, por estar conmigo en
las buenas, en las malas y en la peores...*

*A mis padres, Remedios González Galván y Salvador Luna
Ruiz, por darme la vida y por enseñarme lo que puedo llegar
a ser y lo que ahora soy.*

*A mi hermana y hermanos, Gabriela, Víctor, Aldo y Fabián,
por enseñarme el equilibrio entre lo bueno y lo malo de la
vida.*

Un agradecimiento especial:

A mi asesora de ICR, Dra. Graciela Carrillo González, quien desde el primer día que conversamos, puso su confianza y tiempo invertidos en mí para que pudiera explorar, conocer y descubrir el placer de estudiar la Economía Ecológica y la Sostenibilidad de los procesos económicos; por la orientación durante mi preparación y, sobre todo, por la amistad que me brindó; elementos clave que alimentaron mi conocimiento, el cual con mucho afecto llevo a la práctica y me motiva a seguir luchando por mantener un mejor lugar para (con)vivir.

A la Dra. Gabriela Dutrénit, por haberme hecho parte de su grupo de investigación. Por despertar en mí el interés de continuar al siguiente nivel académico y por su apoyo incondicional antes y durante mi estancia en el Posgrado. A su vez, por sus acertados consejos aún sin ser mi asesora de este trabajo.

Al Dr. Sergio Solís Tepexpa, quien, con su experiencia y dedicación, logró recobrar en mí el gusto por la Econometría, apoyándome en descubrir la importante causalidad entre el Desarrollo Sostenible y el Crecimiento Económico. Aún más, en proporcionarme su invaluable amistad y sus consejos para que mis trabajos tuvieran mejores resultados.

A mis docentes, Dra. Aleida Azamar, Dra. Laura Peñalba, Dra. Marina Sánchez, Dra. Silvia Pomar, Dr. José Miguel Natera, Dr. Danilo Chávez, Dr. René Rivera, Dr. Artemio Chávez, Dr. Enrique Medellín y Dr. Carlos Roza, por hacer del conocimiento algo muy enriquecedor y de su profesión un gusto para continuar aprendiendo.

A la Lic. Viridiana Vázquez, Gerente General de ASOLMEX, al Ing. David Briseño, Desarrollador de Proyectos de Gauss Energía, y al Lic. Juan Pablo Robert, Director General de Marketing de Enlight México, por darme su confianza y abrirme sus puertas para completar el trabajo de campo. Sin su apoyo, accesibilidad y experiencia, este trabajo no sería más de lo que planeé desde su inicio.

Y a mis amigos y compañeros Sandra Ramírez Castillo e Iván Espinosa de los Monteros por los gratos momentos y su amistad incondicional. A Laura Salomón, María Lambros, Erick Jáuregui y Octavio Vilchis, por las risas, la compañía y el agradable ambiente de trabajo que compartimos.

Índice General

Introducción.....	1
Capítulo I. Marco teórico	7
1.1 Institucionalismo y Neoinstitucionalismo.....	7
1.1.1 Introducción.....	7
1.1.2 Antecedentes y algunas características del enfoque institucional	8
1.1.3 Institucionalismo histórico	14
1.1.4 Neoinstitucionalismo económico	15
1.2 Energía y Desarrollo Sostenible	18
1.2.1 Introducción.....	18
1.2.2 Antecedentes al Desarrollo Sostenible	25
1.2.3 La sostenibilidad desde la perspectiva de la Economía Ecológica	26
Capítulo II. Metodología de investigación	32
2.1 Introducción.....	32
2.2 Tipo de investigación.....	32
2.3 Proceso de selección de los casos	33
2.4 Fuentes de información.....	34
2.5 Análisis de los resultados de los casos.....	35
Capítulo III. La Reforma Energética de 2013 en México.....	36
3.1 Introducción.....	36
3.2 Antecedentes en materia del Desarrollo Sostenible y de Energías Renovables	38
3.3 El marco institucional de la Reforma para la Transición Energética	41
Capítulo IV. La energía solar en México	57
4.1 Introducción.....	57
4.2 Antecedentes de la industria solar	59
4.3 Usos y aprovechamientos de la energía solar.....	62
4.4 Comparativo tecnológico general.....	64
4.5 Tecnología solar para la industria energética mexicana.....	69
4.6 Panorama general del subsector solar en México	71
Capítulo V. En medio de la transición energética: los casos de ASOLMEX, Gauss Energía y Enlight México.....	78
5.1. Introducción.....	78
5.2. El caso de ASOLMEX, A.C.....	78

5.3. El caso de Gauss Energía.....	79
5.4. El caso de Enlight México.....	81
Capítulo VI. Principales resultados.....	84
Conclusiones	93
Referencias bibliográficas.....	98
Anexos	102
I. Evolución en la eficiencia de las células solares, 1976-2018	102
II. Descripción de Tecnologías Solares	103
Paneles Fotovoltaicos	103
Central Termosolar.....	106
III. Guía de entrevistas para el trabajo de campo.....	108
IV. Grupo de organizaciones asociadas con ASOLMEX al año 2017 (continúa).....	111

Índice de gráficas por capítulo

• Introducción

Gráfico I.1. México: consumo y producción de hidrocarburos, 1965-2017	2
Gráfico I.2. Complejo Cantarell: Producción de Crudo, 1990-2017	3
Gráfico I.3. México: Comercio Internacional de hidrocarburos, 1990-2017	4

• Capítulo 1.

Gráfico 1.2.1. EE.UU.: producción e importaciones de crudo, 1910-2017	19
Gráfico 1.2.2. Producción y consumo de crudo internacionales, 1965-2016	20
Gráfico 1.2.3. Temperatura promedio de la Tierra, 1880-2016	22
Gráfico 1.2.4. Extensión de hielo en el hemisferio Norte, 1978-2017	23

• Capítulo 3.

Gráfico 3.2.1. Precio internacional del petróleo, 1900-2016	37
---	----

• Capítulo 4.

Gráfica 4.5.1. Evolución del costo promedio de instalación por fuente de energía	65
Gráfica 4.5.2. Evolución del costo promedio de la electricidad por fuente de energía	66
Gráfico 4.6.1. México: consumo de las diferentes fuentes de energía, 1965-2017	71
Gráfico 4.6.2. México: Consumo de recursos solares, 1990-2017	72

Índice de figuras por capítulo

- **Capítulo 1**

Figura 1.2.1. El pico de petróleo de Hubbert, estimación para los Estados Unidos..... ¡Error!
Marcador no definido.

- **Capítulo 3.**

Figura 3.4.1. Evolución del subsector hidrocarburos en México 53

Figura 3.5.1. Evolución del subsector eléctrico en México 55

- **Capítulo 4**

Figura 4.1.1. Mundo: Potencial de energía solar promedio 58

Figura 4.3.1. Diferentes formas de energía obtenidas de la radiación solar 63

Figura 4.5.1. Diseños tecnológicos de concentradores solares térmicos 70

Figura 4.6.1. Potencial promedio de energía solar en México..... 73

Figura 4.6.2. México: Ubicación de las centrales de generación solar..... 74

Figura 4.6.3. México: Ubicación de la oferta futura de centrales solares 75

- **Capítulo 5**

Figura 5.4.1. Pirámide de valor de la empresa Enlight® México 82

Índice de tablas por capítulo

- **Capítulo 1**

Tabla 1.2.1. Evolución de las actividades humanas..... 21

- **Capítulo 3**

Tabla 3.3.1. Artículos Constitucionales en materia del Desarrollo Sostenible 43

Tabla 3.3.2. Leyes secundarias derivadas de la Reforma Energética..... 44

Tabla 3.3.4.1. Disposiciones y facultades que otorga la Ley de la Industria Eléctrica..... 46

- **Capítulo 4**

Tabla 4.5.1. Ventajas y desventajas de las diferentes fuentes de energía..... 66

Tabla 4.6.1. México: centrales de generación solar en 2016 73

“[...] podemos estar seguros de que, en algún momento, quizá antes de lo que podría pensarse, el hombre tendrá que volver a orientar su tecnología en el sentido opuesto, en el de obtener gasolina a partir de cereales, si desea seguir su actual camino. De modo distinto al pasado, el hombre tendrá que volver a la idea de que su existencia es un don gratuito del Sol”

—**Nicholas Georgescu-Roegen** (1971).

Introducción

Hoy en día nos encontramos en un mundo en el cual los recursos naturales para el consumo humano son cada vez más escasos, y las necesidades de la población mundial cada vez mayores. Uno de los recursos más importantes en la actividad económica y en la vida cotidiana es el petróleo, cuyas reservas probadas han disminuido en los últimos años. Esta situación preocupa tanto a países industrializados como a países en rezago económico, aunque varios países, principalmente desarrollados, ya han avanzado en acciones que reducen el papel que se le ha dado al petróleo como recurso estratégico, adoptando otras fuentes de energía limpia, otros continúan aumentando sus esfuerzos en la exploración y explotación de los recursos fósiles, convencionales y no convencionales a costa de generar graves impactos ambientales. La necesidad de esto se presenta por escenarios de prospectiva que impactan sobre las estadísticas y continúan atrayendo el flujo permanente de inversión extranjera para su explotación. Lamentablemente para los países que dependen en gran medida de este recurso (no renovable), su riqueza natural se agota a una mayor velocidad y los tomadores de decisiones se conducen por la misma trayectoria de sobreexplotación en lugar de mirar hacia otros recursos que tarde o temprano desplazarán al petróleo.

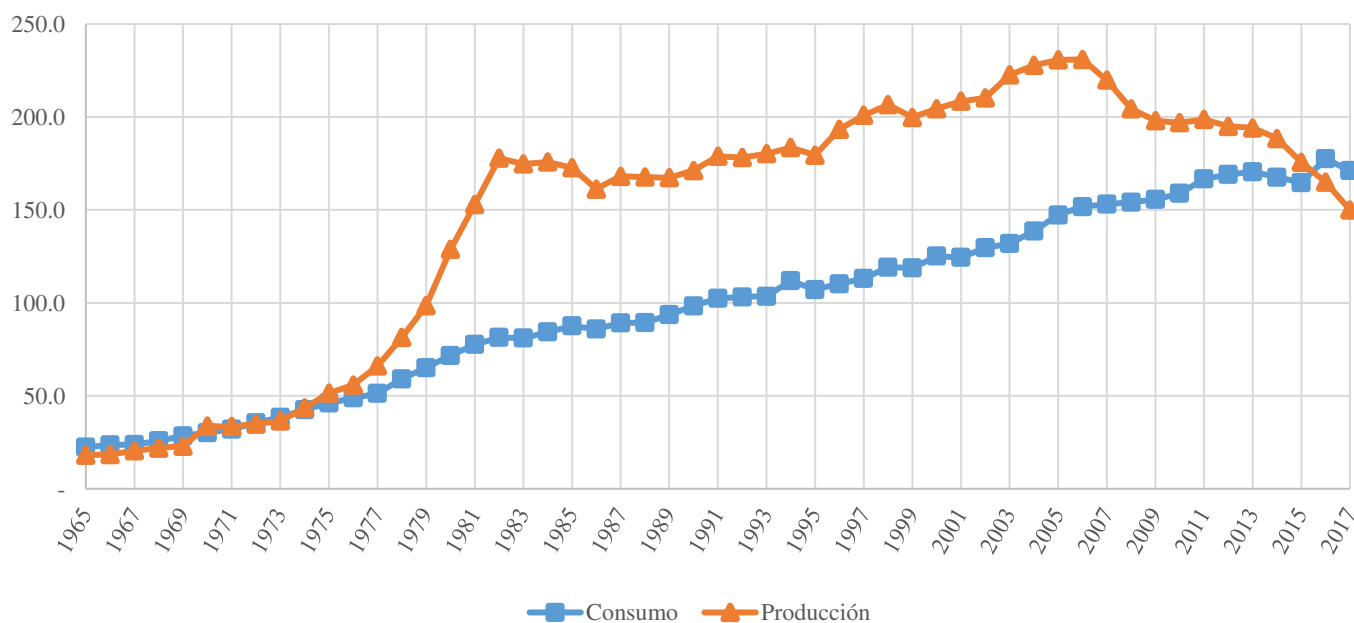
México es uno de estos países que ha mostrado una importante trayectoria en la explotación de petróleo y se colocó como un importante abastecedor del mercado internacional petrolero durante el último tercio del siglo XX. Evidentemente, en la actualidad ya no se habla tanto de sus prácticas comerciales de hidrocarburos, debido a que la actividad productiva de México se reorientó hacia la industria manufacturera desde la década de los años noventa, principalmente en el sector electrónico y el sector automotriz.

No obstante, es de gran relevancia darle un seguimiento al sector de la energía, en el sentido de que muchos gobiernos de diferentes países, la mayoría de la Unión Europea, ya están desplazándose hacia la diversificación de la oferta de fuentes de energía. Entonces, ¿qué está sucediendo en la industria energética mexicana?

En México, actualmente el sector energético se vislumbra poco estable debido a la estructura institucional en la que está cimentado. Durante décadas la economía nacional ha dependido en gran medida de la venta de hidrocarburos y ello se convirtió en uno de los grandes problemas ambientales, ya que se han producido más de lo que realmente se consume a nivel nacional, tal como se observa en el gráfico I.1. Por un lado, se han empezado a adoptar técnicas de extracción como el *fracking* (o fracturación del subsuelo), la cual es una práctica que ha sido altamente criticada por el alto índice de contaminación ambiental que representa, y en paralelo, aunque de manera limitada, se ha iniciado la producción energética a partir de fuentes de energía alternativa y nuevas formas de negocio, tal como se explicará en el capítulo tercero de este trabajo.

Gráfico I.1. México: consumo y producción de hidrocarburos*, 1965-2017

(millones de toneladas de petróleo equivalentes)

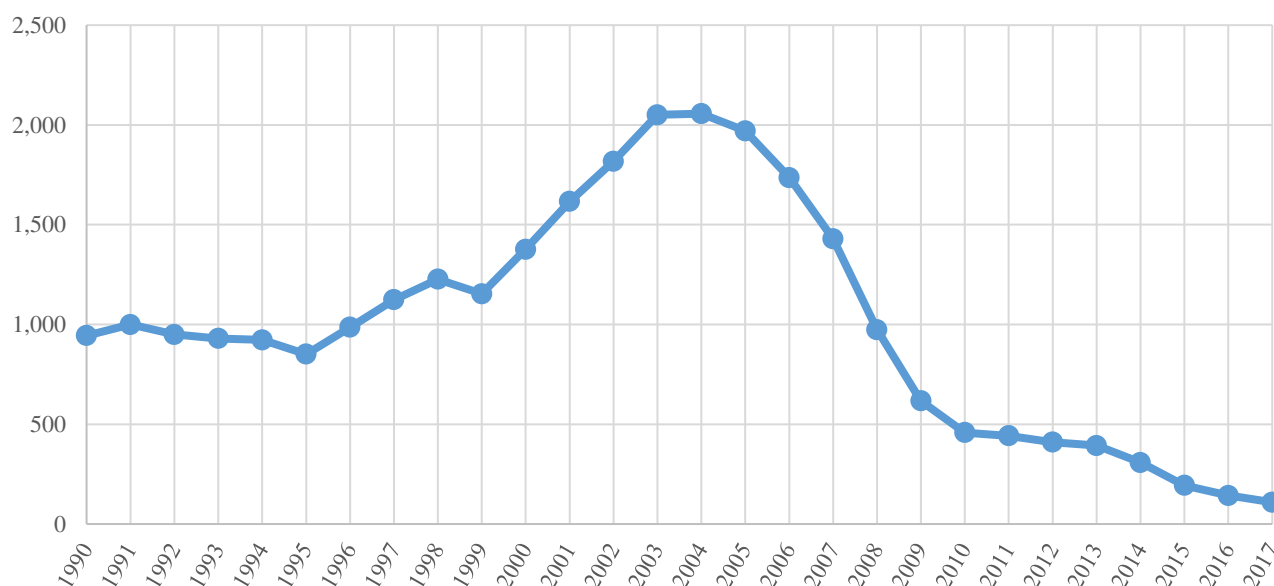


* Petróleo, Gas y Carbón.

Fuente: Elaboración propia con base en estadísticas de British Petroleum (BP).

En el siguiente gráfico (I.2) se observa que a partir de 2003 y hasta mediados de 2015 la producción de hidrocarburos en México fue a la baja, período en que el consumo nacional rebasó la producción, justo cuando las reservas de hidrocarburos de México, principalmente petroleras, estaban disminuyendo con el agotamiento y despilfarro del complejo Cantarell (véase gráfico I.2), uno de los pozos petroleros y de gas natural más importantes del mundo desde principios de los años setenta, el cual en el año 2004 cerraría su máxima producción en poco más de 2 millones de barriles de crudo diarios y caería en picada hasta cerrar en 2017 con sólo 109 mil barriles, es decir, una caída de poco más de 200% en 14 años.

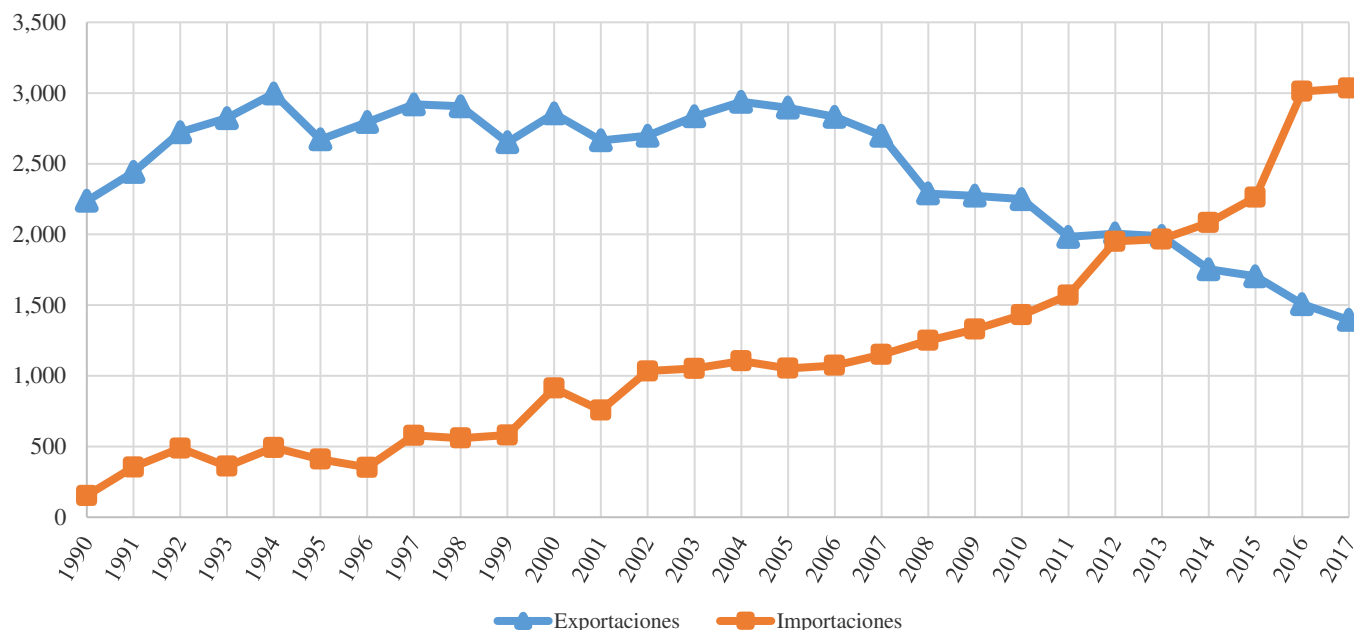
Gráfico I.4. Complejo Cantarell: Producción de Crudo, 1990-2017
(miles de barriles diarios)



Fuente: Elaboración propia con base en el Sistema de Información Energética, SENER.

La creciente demanda de energéticos a nivel nacional representaría un alza evidente en las importaciones de hidrocarburos, las cuales no han dejado de crecer desde que se tienen registros, empero, es en 2013 que superarían a las exportaciones, y continuarán abriendo la brecha comercial con poca o nula posibilidad de invertir el escenario, tal como puede observarse en el gráfico I.3.

Gráfico I.7. México: Comercio Internacional de hidrocarburos, 1990-2017
(incluyendo derivados)



Fuente: Elaboración propia con base en el Sistema de Información Energética, SENER.

La Reforma Energética se justificó a partir del escenario anteriormente descrito, señalando la necesidad de atraer inversión para la extracción de petróleo no convencional, dado el decremento de las reservas convencionales. Por lo anterior, no sólo es importante describir lo que ha pasado en el subsector de hidrocarburos a nivel nacional, sino también las implicaciones de dicha Reforma para el desarrollo y crecimiento de esta industria. A su vez, entre algunos objetivos no tan claros de esta reforma, cabe resaltar la relevancia de analizar e identificar el cambio tecnológico e institucional que surgió en este sector, pues también interesa analizar las posibilidades que se han abierto para impulsar el uso de energías no sólo convencionales, sino también con miras hacia las fuentes de energía alternativa y, en particular, lo relativo al subsector de la energía solar, uno de los subsectores más importantes e interesantes que han generado grandes especulaciones sobre su utilidad y abundancia de recursos a nivel internacional.

Haciendo referencia particular al marco institucional de la Reforma Energética, la pregunta central de este trabajo de investigación es la siguiente: ¿Qué barreras y/o

incentivos han derivado de la Reforma Energética para que se desarrolle la industria de la energía solar en México?

Como hipótesis central se plantea que el surgimiento y desarrollo de la industria solar en México mostró un débil crecimiento hasta principios del siglo XXI debido al poco conocimiento de esta fuente de energía renovable. No obstante, con el entorno de apertura del sector energético y la iniciativa de las leyes secundarias que derivaron de esta reforma, se incentivó a la tecnología solar en los procesos de gestión, lo que generó un crecimiento exponencial en el consumo de recursos solares para la generación eléctrica a nivel nacional.

Para poder verificar que realmente se cumple la hipótesis general de este trabajo, la investigación se regirá por los siguientes objetivos.

Objetivo General: Analizar el marco institucional asociado a la Reforma Energética para conocer cuáles son las barreras e incentivos que promueven o inhiben el desarrollo del subsector de la energía solar en México.

Objetivos Específicos:

- a) Analizar los planteamientos de la apertura energética y de las leyes secundarias contenidos en la reforma energética, así como los procesos de gestión para la transición o diversificación tecnológica en el sector.
- b) Realizar un diagnóstico del sector energético en México para identificar la evolución de la energía solar en el territorio nacional.
- c) Realizar un estudio de caso para analizar el ritmo de crecimiento del desarrollo tecnológico en el subsector de la energía solar, e identificar los niveles de desarrollo, adquisición y uso de este tipo de tecnología.
- d) Detectar cuáles han sido los principales incentivos para las empresas de energía solar y que les ha limitado.

La investigación estará estructurada de la siguiente manera:

En el primer capítulo se aborda el marco teórico en dos unidades: la primera le corresponde al análisis del institucionalismo, donde se rescatan ideas clave de las diferentes corrientes que constituyen este análisis, pasando por los enfoques de Douglas C. North y Oliver Williamson, hasta complementarlo con el enfoque histórico y económico del

neoinstitucionalismo; la segunda está conformada por el enfoque de la economía ecológica, donde se abordan aspectos de la relación entre los procesos biológicos y económicos, y cómo esta relación nos lleva a explorar otra visión sobre cómo los seres humanos podemos aprovechar las fuentes de energía sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas.

En el segundo apartado se presenta la metodología que fue utilizada para estructurar la investigación. Se detalla la metodología de estudio de caso propuesto por Robert Yin, la cual permite profundizar en la información de una situación representativa para los fines de la investigación, y a partir de ello se identifican elementos concretos que pueden inducir hacia una generalización.

En el tercer apartado, el lector encontrará una breve descripción del marco referencial e institucional que acompaña el análisis de la industria energética a nivel nacional, donde se incluyen los ajustes a los cuales dio lugar la Reforma Energética, pasando por sus leyes secundarias, y algunas estrategias que sigue no sólo el Gobierno Federal, sino también las dependencias en la materia para la transición hacia modelos energéticos más limpios, que han ayudado a poner sobre el plano a las energías alternativas, entre ellas la solar.

En el capítulo cuarto se expone y analiza la información referente a la situación de la energía solar en México, así como la tecnología disponible para captarla. Asimismo, se detalla la historia de esta fuente de energía, sus usos y aprovechamientos, así como un breve comparativo entre esta fuente y otras, tanto convencionales como alternativas.

Finalmente, en los últimos dos capítulos se encontrarán los estudios de caso que fueron necesarios para complementar la parte empírica de esta investigación, así como los resultados finales y las conclusiones. Posteriormente, se encuentra la parte de anexos donde el lector encontrará material de apoyo que está referenciado a lo largo de esta investigación.

Capítulo I. Marco teórico

1.1 Institucionalismo y Neoinstitucionalismo

1.1.1 Introducción

El institucionalismo es una escuela teórica que ha dedicado gran parte de su historia a explicar los procesos por los cuales las sociedades crean reglas de funcionamiento o de comportamiento. Los institucionalistas consideran a las instituciones como un recurso creado por los agentes económicos y sociales, asumiéndose racionales, que las utilizan para obtener ciertos beneficios que los ayudan a completar sus objetivos en sociedad. A menudo, el análisis que lleva a cabo la teoría institucional se asocia con las capacidades de poder que tiene el Estado para generarlas, con el fin de solucionar los problemas existentes en una sociedad, reduciendo los costos de transacción, aumentando los incentivos que dificulten los procesos de corrupción dentro de las organizaciones, facilitando la comunicación y los flujos de información entre los agentes, entre otras cuestiones de índole política y social que más adelante se abordarán.

Pese a que existe una diversidad institucional (Ostrom, 2015) que puede explicar el comportamiento de los sistemas económico y político, esta misma diversidad vuelve complejo el concepto de instituciones, pues a la fecha no hay un consenso sobre cuál es la mejor manera de definirlas o asociarlas con una frase que pueda ser entendible desde diferentes disciplinas. A esta cuestión se han sumado diferentes escuelas de pensamiento que han tratado de suavizar estos esfuerzos por encontrar un concepto que se apegue más a la realidad, topando con múltiples discusiones referentes a su definición, y a la relevancia que éstas tienen en el desarrollo de una comunidad o una nación.

El desarrollo es otro concepto, no fácil de abordar, que se define desde distintas corrientes de pensamiento: política, sociológica, histórica, económica y humana. Es por ello que en este trabajo se definirá como “el proceso de ampliación de las opciones de las personas y mejora de las capacidades humanas, es decir, la diversidad de cosas que las personas pueden hacer o ser en la vida, y las libertades para que las personas puedan vivir una vida larga y saludable, tener acceso a la educación, a una vida digna, y a participar en la

vida de su comunidad y en las decisiones que los afecten” (Sen, 1998, citado en Bedoya, 2010: 280).

Asimismo, este desarrollo va a depender del funcionamiento correcto de las interacciones entre instituciones y organizaciones, que constantemente se encuentran en situaciones de conflicto y negociación. Ambas sufren cambios con el tiempo, derivado de las consecuencias de sus acciones y del consenso al que lleguen. Douglass C. North (2008: 22) define a las instituciones como “las reglas del juego. Juntas definen la forma en que se juega el juego”, y a las organizaciones como “los jugadores. Están formados por grupos de individuos unidos por objetivos comunes”. Ambos elementos van a constituir el esquema básico del análisis institucional, en el que los involucrados tratarán de dar forma a su entorno (o marco institucional) para mejorar su posición competitiva (y la de sus organizaciones). Por ejemplo, el Estado, con sus diversas características y capacidades, operará bajo la gran tarea institucional de establecer incentivos, normas y restricciones que definirán las preferencias y las decisiones de los individuos y de las organizaciones en conjunto.

En particular interesa discutir algunas ideas generales sobre el surgimiento de la escuela institucional, desde la corriente señalada, y sobre las aportaciones que ha hecho al pensamiento económico. En el siguiente apartado se describirán algunos antecedentes de esta escuela, así como los primeros avances que ayudarían a establecer una nueva forma de ver y rescatar el análisis institucional que por mucho tiempo parecía ser olvidado.

1.1.2 Antecedentes y algunas características del enfoque institucional

Históricamente, la larga trayectoria del institucionalismo ha generado grandes aportes sobre el desarrollo de las economías. Se dice que hace más de 2,500 años se llevaron a cabo los primeros ejercicios institucionales, sólo que desde la visión y el acto de la democracia (Whitehead, 2005, citado en Oriol, 2007), y sólo fue hasta la primera mitad del siglo XX que comenzó a formalizarse como escuela de pensamiento, principalmente por los trabajos de Veblen (1909) y Commons (1924), además de otros importantes autores como Wesley Mitchell y Clarence Ayres, que serían la herencia institucional para erigir la escuela neoinstitucionalista. A lo largo del tiempo, los estudios han encontrado que la función general de las instituciones es mejorar las condiciones o, como lo sostiene Sen, las capacidades de las personas involucradas. El desarrollo humano, medido por estas

capacidades humanas, está directamente relacionado en todos sus aspectos por el cambio en las instituciones, mismo que puede observarse en distintos tipos de instituciones (North, 2001) y en diferentes niveles de análisis (Williamson, 2000).

Existen cuatro niveles en los que se puede desagregar una diversidad institucional. El primer nivel de análisis hace referencia a aquellos aspectos que conforman la estructura social y la forma en que se dimensiona la cultura. Estas pueden no ser instituciones de acuerdo con la definición de North, sin embargo, afectan directamente a las instituciones tanto formales como informales. Las instituciones formales son aquellas que se encuentran codificadas, a las que toda persona o individuo tiene acceso, que son comunicadas y sustentadas por medios oficiales. Y las informales son aquellas que normalmente no se encuentran codificadas, que sólo son comunicadas vía interacción entre agentes o personas, por ejemplo, la forma en que se saludan o se despiden las personas. Las clases sociales, los niveles de gobierno o, en general, las jerarquías dentro de las organizaciones son ejemplos que definen una estructura social, mientras que la religión, las costumbres, las tradiciones, las normas sociales, el lenguaje, además de otras cuestiones que pueden variar entre sociedades, son aspectos más apegados a lo que se refiere la cultura. Este primer nivel es lo que prácticamente les da una base inicial y ciertas restricciones a los demás niveles institucionales inferiores y de los elementos que los constituyen.

Es importante mencionar que tanto la estructura social como la cultural tienen períodos de cambio que pueden exceder una o más generaciones de personas. Cambian de manera muy lenta debido a que las sociedades suponen que tanto la estructura social como la cultural están dadas, y rara vez las ponen en tela de juicio para modificarlas. Además, el cambio en estos dos elementos supone un costo excesivo en términos de coordinación (Oriol, op. cit.). Este nivel define, además, cómo es que las sociedades pueden ser gestionadas por sí mismas, ya que se legitiman las instituciones formales, y estas, por su parte, ayudan a que la sociedad coopere y demuestre que puede haber una confianza social hacia el sistema de reglas impuesto por alguna organización superior, como el Estado o la Iglesia.

En el segundo nivel se encuentran las reglas formales del juego que definen el contexto institucional. En este nivel, los actores involucrados se encuentran en una situación de interacción con otros actores, con el fin de tomar juntos decisiones y organizar la

consecución de nuevas instituciones, o mejoras en las ya existentes. Con esta característica inicial, en este nivel se encuentran los tres poderes de la Unión: ejecutivo, legislativo y judicial, así como la estructura burocrática del Estado y sus diferentes funciones en los diferentes niveles de gobierno (federal, estatal y municipal). Asimismo, aquí se conceptualiza la implementación de los derechos de propiedad y las estructuras contractuales, que son formas jurídicas institucionales.

Para que las instituciones jurídicas tengan validez o sean eficaces, la sociedad que estará afectada directamente por sus objetivos debe aprobarlas y adaptarlas a su estructura social; sólo así pueden lograr su legitimación. De lo contrario, se puede incurrir en altos costos que resultan en la violación e incumplimiento de las normas establecidas, o más aún, que surjan normas y comportamientos informales que terminen aumentando los costos de coordinación de la organización que impuso las reglas desde un inicio. De hecho, esto mismo se puede encontrar en las instituciones políticas, que dependen mucho de la legitimidad social para que puedan funcionar. Si el contexto institucional no se ajusta al contexto social, difícilmente habrá una apropiación de las instituciones formales por parte de los involucrados y, en última instancia, se vuelven disfuncionales y poco a poco desaparecen del conocimiento de los ciudadanos.

En este segundo nivel, las instituciones sufren un período de cambio entre los diez y cien años, incluso más, dependiendo de qué tipo de institución se esté atendiendo. Por ejemplo, las instituciones políticas, jurídicas y económicas sufren cambios en un período comprendido entre los diez y cien años, mientras que las instituciones sociales llegan a cambiar cumplidos los cien años o más (Williamson, 2000).

Ya en el tercer nivel es donde se construye la estructura de la *gobernanza*. Es la etapa donde se insertan las organizaciones en el juego e interactúan con las reglas y otros jugadores. El fundamento en el que se sostiene este nivel es que existe una necesidad de formalizar leyes que respalden la estructura contractual de las organizaciones, por ello, la *gobernanza* será el centro de las relaciones contractuales en el análisis institucional de este nivel, pues “define los arreglos institucionales a partir de los cuales se toman decisiones de política y se crean nuevas organizaciones” (Oriol, op. cit.: 126). Este nivel va a ser fundamental a la hora de permitir las relaciones entre las partes interesadas, pues aquí se

diseñan y se ejecutan las decisiones públicas que establecerán las reglas por las que los agentes intercambiarán bienes, servicios y trabajo por medio de una relación contractual, con la finalidad de reducir la incertidumbre o resarcir algún conflicto entre las partes involucradas.

Los cambios en este nivel suceden con mayor velocidad en comparación con los niveles anteriores. Williamson (ibíd.) menciona que estos pueden suceder entre un año y una década, aunque en algunos casos puede durar meses. Este tipo de arreglos institucionales sufren cambios constantes, pues las organizaciones de manera estratégica cambian periódicamente las estructuras contractuales, incluyendo sus transacciones. Por ejemplo, la contratación de un personal externo a la organización (outsourcing) o el equipamiento y herramientas de trabajo de sus empleados (software informático, mantenimiento del equipo de cómputo, mobiliario, papelería, etcétera). Incluso, el personal que es externo a las organizaciones también llega a ser parte del cambio en estos arreglos institucionales. Los proveedores, por ejemplo, deben cambiar en paralelo con los objetivos de las organizaciones a las que les ofrecen sus servicios.

Por último, en el cuarto nivel, se desarrollan aquellas instituciones que van a gestionar la asignación de los recursos y las decisiones sobre la compra, venta y producción de los mismos. Dentro de este nivel, las interacciones entre los agentes sufren constantemente de imperfecciones, por ello, requieren un cambio progresivo y constante de los incentivos que otorgan las organizaciones superiores (Estado o alta dirección de una organización) para lograr que las instituciones sean eficaces y aumente la productividad de esta interacción. Por lo anterior, Williamson (ibíd.) sustenta que el cambio institucional en este nivel debe ser continuo, en comparación con todos los anteriores; necesariamente menor a un año.

Desde luego, como puede apreciarse en el esquema planteado por Williamson (ibíd.), también hay una interacción entre los cuatro niveles, lo que implica que no es un esquema meramente lineal, ya que los cambios que sufra un nivel van a repercutir en las características de los demás. Por ello, esta interacción requiere cierta sincronía entre los cuatro niveles. Además, es importante mencionar que el cambio institucional no suele realizarse en forma de cascada; es posible que los cambios en niveles inferiores afecten directamente a los niveles superiores en forma de espiral.

Hoy en día existe una diversidad importante de trabajos que se concentran en los diferentes niveles institucionales. En los trabajos empíricos predominan los niveles superiores (1 y 2), sin embargo, los estudios que se orientan más hacia los aportes del neoinstitucionalismo se ubican en los niveles inferiores de la jerarquía institucional (3 y 4). Aquellos trabajos que combinan tanto niveles inferiores como superiores, ubican su discusión sobre el origen y el cambio en las instituciones. Bajo esta diferencia de perspectivas, surgieron las diferentes escuelas institucionalistas, que trataron de ubicar sus estudios en estos cuatro niveles y dar prueba desde su visión de la importancia de las instituciones en el contexto económico, político y social.

Actualmente se identifican más de doce escuelas teóricas que pueden explicar su origen y evolución (Peters, 1999, citado en Vargas, 2008: 47-48), estas fueron surgiendo conforme la realidad cambiaba frente a las ideas de las escuelas ortodoxas. Lo más importante a destacar para que al institucionalismo lo llamaran “nuevo”, fue precisamente la naturaleza cambiante de las economías, especialmente la estadounidense, que por mucho tiempo fue la dominante. Como las economías de mitad del siglo XX se regían principalmente por la escuela neoclásica, la cual tenía ausencia de contenido institucional, poco a poco se volvió en un problema a nivel teórico, porque ya se venían desarrollando nuevos conceptos y herramientas analíticas que estaban más allá de los límites explicados por la “teoría del equilibrio general” propuesta por Léon Walras, considerado el padre de la economía matemática. Dado que la economía neoclásica sostenía que el mercado podía auto-regularse hasta alcanzar el equilibrio, esto es, cuando la oferta de bienes y servicios es igual a la demanda de estos, existió una preocupación por aquellos mercados que no tenían esa capacidad, pues se dieron cuenta que existían otras fuerzas ajenas al mercado que podían cambiar el rumbo de este equilibrio. Entre los elementos considerados por los investigadores se veía al Estado como un agente importante en el análisis institucional, lo que detonó en la reactivación del interés por las instituciones dentro de la economía y en la redefinición de las facultades del Estado como regulador y para participar en las decisiones del mercado e intervenir en la política, con lo cual se confirmó que la teoría formal entonces establecida carecía de elementos importantes de la realidad.

Una de las principales escuelas que determinó la falta de elementos en la teoría neoclásica es la “nueva economía institucional”, la cual se encargó de analizar los costos de transacción, los derechos de propiedad, los contratos y las organizaciones, como un primer intento de ampliar el rango de la teoría neoclásica a través de la explicación de los factores institucionales que por mucho tiempo se consideraban dados, como los mismos derechos de propiedad y las estructuras de *gobernanza*. Desde el punto de vista de esta escuela, las instituciones son consideradas como un complemento que tiende a proporcionar soluciones más “eficientes” a los problemas económicos.

Los nuevos institucionalistas han hecho un arduo trabajo por diferenciarse de la vieja escuela, y existe una diferencia importante en las metodologías de análisis, en las herramientas teóricas y analíticas que utilizan ambas partes, así como en la orientación que le dan al mercado y a las instituciones (Rutherford, 2001), sin embargo, es Williamson (2000) quien puede acreditar el vínculo directo entre el viejo y el nuevo institucionalismo a partir del concepto de “transacción” encontrado en los trabajos de Commons, como la unidad básica más antigua de las actividades tradicionales, tanto en economía como en derecho, pero será Hodgson (1998, 1999, citado en Rutherford, op. cit.) quien sostendrá que el neoinstitucionalismo está fuertemente influenciado por el modelo de conducta individual racional, además de algunas funciones de preferencia individual, lo que determina la delimitación entre lo viejo y lo nuevo del análisis institucional.

Con el tiempo, comenzaron a surgir diversos momentos y lugares de las ciencias sociales, en específico de la ciencia económica, para que florecieran los distintos institucionalismos. En este estudio se consideró que dos enfoques del neoinstitucionalismo podrían apoyar el análisis del *phenomenon* estudiado, estos son: el institucionalismo histórico y el económico. Estas corrientes fueron elegidas en función de cómo abordan la problemática y la definición de instituciones, además de otras características como el contexto en el que se centraron para su estudio. En el siguiente apartado se establecerán los parámetros que más interesan de estas dos corrientes, esto es: qué definen como instituciones; cómo describen el surgimiento de las mismas; cómo se da el cambio institucional a partir de sus análisis, y cuáles son los principales problemas que abordan.

1.1.3 Institucionalismo histórico

Una de las primeras escuelas en sostener que el Estado tiene la capacidad para generar las instituciones necesarias que de alguna manera pueden resolver los conflictos existentes de la sociedad, además de enfatizar su papel como actor fundamental en el desarrollo de una economía, es el institucionalismo histórico. Esta escuela tuvo una mayor presencia en la segunda mitad del siglo XX, sobre todo con el trabajo precursor de North y Thomas, *The rise of the western world* (1973), quienes fueron los primeros en demostrar que las instituciones son fundamentales en cualquier estructura organizativa y que esto, evidentemente, podía llevar al crecimiento económico. De hecho, las aportaciones de North (1981 y 1990) en el análisis institucional logró dar apertura a que otras disciplinas discutieran el papel de las instituciones, tales como el enfoque económico (derechos de propiedad), sociológico (ideología y modelos mentales) y político (sistemas electorales), los cuales fueron apareciendo conforme la realidad económica cambiaba con el tiempo.

Inicialmente, dentro de esta escuela se discute una definición de las instituciones, en el cual no se llega a un consenso, aunque algunos autores las han definido como “reglas formales, los procedimientos de cumplimiento y las prácticas operativas estándar que estructuran la relación entre individuos en varias unidades de la política y la economía” (Thelen y Steinmo, 1992: 2). De aquí que el institucionalismo histórico se concentre en estudiar las estructuras y procesos tanto políticos como económicos de largo plazo, por lo que su razonamiento yace en tres elementos. Un primer elemento que caracteriza a esta corriente institucional es que estos procesos se asemejan a una arena de acción (Ostrom, op. cit.), donde las instituciones y las ideas principales surgen y entran en conflicto, y luego se discuten para lograr establecer un acuerdo entre diversos actores. Es este conflicto de largo plazo lo que lleva al diseño de mecanismos que dan como resultado los procesos de *gobernanza*; estos procesos definirán el comportamiento y las estructuras de las esferas pública y privada, de los intereses individuales y del bien común medido por la eficiencia del uso de los recursos disponibles (Vargas, op. cit.).

El segundo elemento dentro de este enfoque es que las posturas de los agentes involucrados en la creación de instituciones adoptan un carácter endógeno. Esto es, con el fin de solucionar los conflictos, a través de la ayuda de la política y algunas instituciones, se

crean grupos de interés que amparan determinadas normas o reglas que están siendo aplicadas a la sociedad en su conjunto, como las leyes proteccionistas o personal altamente especializado, que imponen su voluntad colectiva entre los grupos y sobre los individuos, por lo que “las políticas y las instituciones pueden fomentar o desincentivar la movilización de los intereses reconociendo la legitimidad de las demandas populares” (Oriol, op. cit.: 138).

El tercer y último elemento de este enfoque trata sobre la dependencia de la trayectoria que han llevado las instituciones a lo largo de cierto período, es decir, las decisiones que se tomaron en un período inicial o en el pasado están directamente relacionadas con lo que suceda o se decida en el futuro —de ahí que lo llamen histórico. Por ello, es de gran importancia saber cuál es la definición de instituciones que los hacedores de políticas llevan consigo, ya que las instituciones se crean del proceso histórico en el que transitaron ciertas regiones o sociedades. Entonces, en este punto, es posible que con el tiempo los evaluadores y tomadores de decisiones se den cuenta de que siguen persistiendo instituciones ineficientes debido a problemas conceptuales más que a problemas sociales. Pero aquí debe quedar una aclaración por parte de este enfoque, el institucionalismo histórico pone de manifiesto que la única forma de mejorar los procesos de eficiencia o estructura social es a través del conflicto entre actores con intereses contrarios. Por tanto, el cambio institucional en este enfoque es demasiado lento, porque hay ciertos choques de ideas que pueden durar décadas, lo que genera bloqueos y resistencia que pueden debilitar la capacidad de desarrollo o de cambio en las sociedades.

1.1.4 Neoinstitucionalismo económico

El segundo enfoque que se aborda es el del neoinstitucionalismo económico, inicialmente, este enfoque hace importantes observaciones y críticas hacia la teoría económica neoclásica. Por su parte, este enfoque comienza en el fortalecimiento del esquema económico, ya que establece una transición de la esfera de la producción a la esfera del intercambio de los bienes económicos, aquí se parte de la misma explicación del enfoque neoclásico donde los bienes se encuentran en condiciones de escasez (del Castillo, 1996: 8-9). Se pone énfasis en que, a diferencia de la teoría neoclásica que está basada en un método teórico deductivo, esta corriente utiliza un método inductivo y cualitativo, ya que en el mundo real existen ciertas

situaciones en las que no se pueden establecer relaciones causa-efecto (Santizo, 2007, citado en Vargas, op. cit.).

Un detalle importante que puede destacarse de esta escuela institucionalista es que se apega un poco a las discusiones e ideas que maneja el enfoque evolutivo de la microeconomía neoclásica (Lesourne, Orléan y Walliser, 2006). De hecho, uno de los trabajos más importantes de este enfoque es el de la teoría de la racionalidad limitada de Herbert Simon (1957), que difiere totalmente de la idea neoclásica del homo *œconomicus*. Simon establece que los individuos son intencionalmente racionales porque su capacidad cognitiva tiene un límite en cuanto al procesamiento de la información con que disponen, mencionando además la existencia de factores externos que pueden ser barreras de acceso a esta información. De hecho, a decir de lo anterior, estas barreras a la información son producto de la privatización de la misma (las patentes, por ejemplo), lo que en cierto sentido representa ventajas comparativas y beneficios para aquellas partes interrelacionadas, las cuales fueron producto del interés de distintas organizaciones o actores, aquellas que comparten el conocimiento con otros miembros de la sociedad por un beneficio económico mutuo. Por lo tanto, los individuos no son del todo racionales, en el sentido de que no todos disponen de la misma información o del mismo conocimiento que maximiza los beneficios.

Dentro de esta teoría de la racionalidad limitada se considera vital el aporte que hizo Oliver Williamson a la teoría institucional. Su trabajo *The economic institutions of capitalism* (1985), será de los grandes pilares del institucionalismo económico, pues en esta obra, el autor manifiesta al *hombre contractual*, que se asume como un agente racional y que, con base en la información de que dispone, encuentra la capacidad para establecer los mejores acuerdos con el fin de encontrar el mayor beneficio. A través de estos acuerdos, Williamson asume que los individuos lograrán interactuar entre ellos mismos por medio de relaciones contractuales. Pero los individuos no serán homogéneos como los describía la teoría neoclásica, sino que la idea de este autor es que existe una particularidad importante que diferencia a ciertas personas de los demás. Lo anterior va a recaer en aquellas personas que dispongan de más información (codificada o no) que los demás, pues esto, de cierto modo, impone una ventaja que les puede reportar un mejor beneficio propio, por lo que a las personas les preocupará menos el costo de esta información. Tal será el beneficio asociado a

la información –compuesta por instituciones tanto formales como informales– que las personas adoptarán un comportamiento oportunista, ya que la naturaleza del ser humano dicta que hay que sacar el mejor provecho de lo que se tiene disponible, aún a costa del beneficio de los demás.

El oportunismo, explica Williamson (op. cit.: 47), es la búsqueda del interés propio, que lleva a que un individuo saque provecho de la información que se tiene para obtener ventajas sobre los demás individuos. Empero, además de que muchos agentes económicos no realizan esta práctica debido a que tienen más facilidad de socializar (Williamson, 1993) y disponen de un margen más grande de confianza, existen incentivos que inhiben este tipo de comportamientos, traducido en una mejor organización de las transacciones, otorgando un mayor beneficio para las partes interesadas. A decir de esto, Williamson considera que las prácticas de los individuos, en su búsqueda por el interés propio, conlleva a que ciertos actores tengan las facultades para diseñar mejores arreglos institucionales que pueden regular este “comportamiento egoísta” a través de la coordinación de normas y reglas de comportamiento.

La línea sobre la que trabaja el neoinstitucionalismo económico es dentro de la coordinación de las instituciones, pues esta coordinación está interesada en lograr persuadir a los individuos de que eviten, en la medida de lo posible, plantear objetivos que pongan en peligro la integridad de la sociedad. Esto se va a lograr a partir de la generación e implementación de incentivos que les proyectará expectativas a los agentes, para que éstos logren coordinar sus planes exitosamente y lleguen a completar sus objetivos con y para la sociedad. Entre estas prácticas que realizan los agentes a la hora de vincularse con otros, es importante mencionar que en este canal de comunicación ambas partes van a incurrir en un costo, al que Williamson (2008) le llama “de transacción”, en el que esta interacción necesariamente va a sufrir un proceso de cambio incremental que no tendrá un fin temporal, pero dependerá del grado de competencia entre las diversas organizaciones y sus emprendedores (North, op. cit.). Asimismo, este cambio va a ser inducido no sólo por las prácticas humanas y su interacción, sino que ya se está hablando de cambios relacionados con la biofísica. Por ejemplo, el cambio climático, conflicto que en cierto sentido fue

provocado tanto por instituciones formales como por normas informales creadas por todos los residentes del planeta, directa o indirectamente.

Es de lo anterior que se concibe la definición de organizaciones en un nuevo contexto donde las mismas se encuentran en un estado de incertidumbre por lo que está sucediendo en su entorno próximo. Esto constituirá un nuevo objetivo final de las mismas, en el que su supervivencia ya no sólo estará en función de la reducción de los costos ante la competencia furtiva del mercado, ni mucho menos de la creación de nuevos procesos y productos que los llevará al éxito por muchos años, sino del modo en que sepan aprovechar los recursos escasos, lo que asume que las organizaciones deberán ser más eficientes que sus rivales, obligando a los accionistas y a los miembros de éstas en invertir en más habilidades y conocimientos. Esta competencia será el factor que acelerará el proceso de cambio institucional (North, 2008: 22), el que estará orientado hacia la sostenibilidad de los procesos económicos de las diversas estructuras productivas.

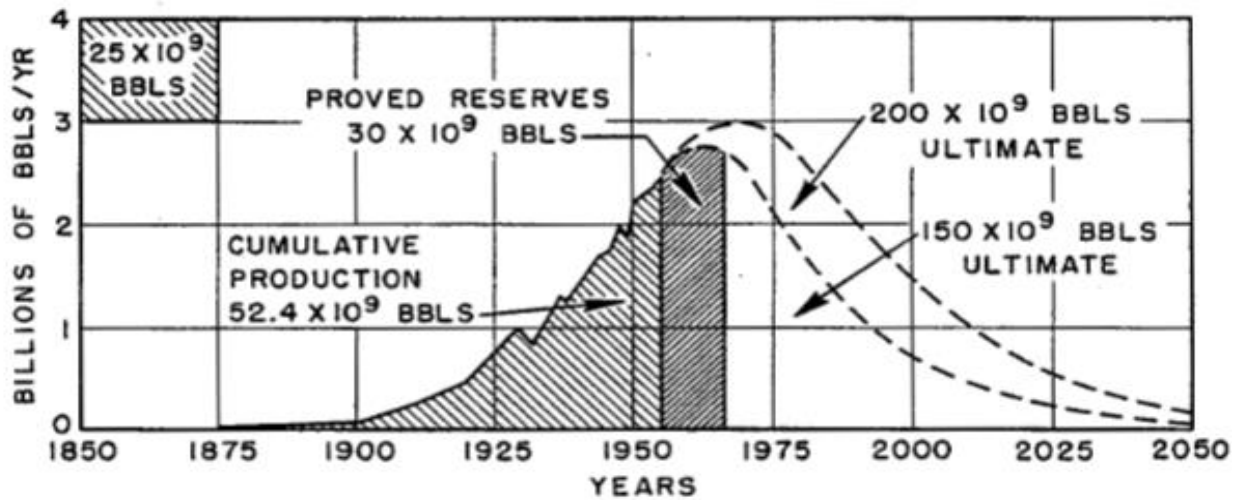
1.2 Energía y Desarrollo Sostenible

1.2.1 Introducción

Uno de los temas más importantes que se ha llevado a debate en la política internacional es la cuestión de la seguridad energética, el cual surgió a partir de la teoría del pico del petróleo desarrollada por el geólogo petrolero estadounidense Marion King Hubbert, quien fue investigador asociado de la empresa petrolera Shell en Houston, Texas. Su trabajo “*Nuclear energy and fossil fuels*” fue presentado ante el American Petroleum Institute en la misma región donde hizo sus investigaciones, en el cual sostuvo que la producción de petróleo de los Estados Unidos tendría su cénit en la década de los años setenta, y continuaría hacia un rápido declive (Hubbert, 1956, en la figura 1.2.1 se presenta uno de sus resultados). Como todo trabajo pionero, primero fue muy criticado, rechazado por la compañía Shell y luego ridiculizado por sus colegas petroleros, ya que por décadas estuvieron descubriendo importantes yacimientos en todo el territorio norteamericano; especialmente en Texas. No obstante, catorce años después, descubrieron que Hubbert tenía razón, con el inicio de la década de los setenta, los esfuerzos por incrementar la producción anual empezaron a

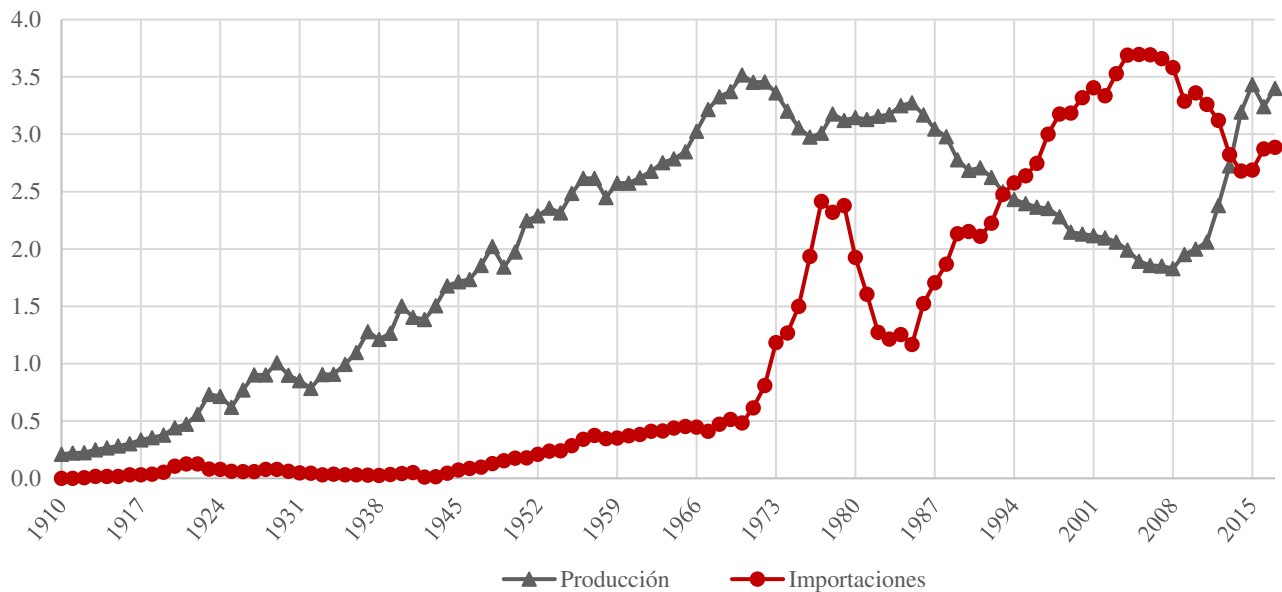
disminuir y continuó bajando hasta que las importaciones de petróleo crudo superaron la producción local estadounidense en 1993 (véase gráfica 1.2.1).

Figura 1.2.1. El pico de petróleo de Hubbert, estimación para Estados Unidos



Fuente: Extraída de Hubbert (1956).

Gráfico 1.2.1. EE.UU.: producción e importaciones de crudo, 1910-2017

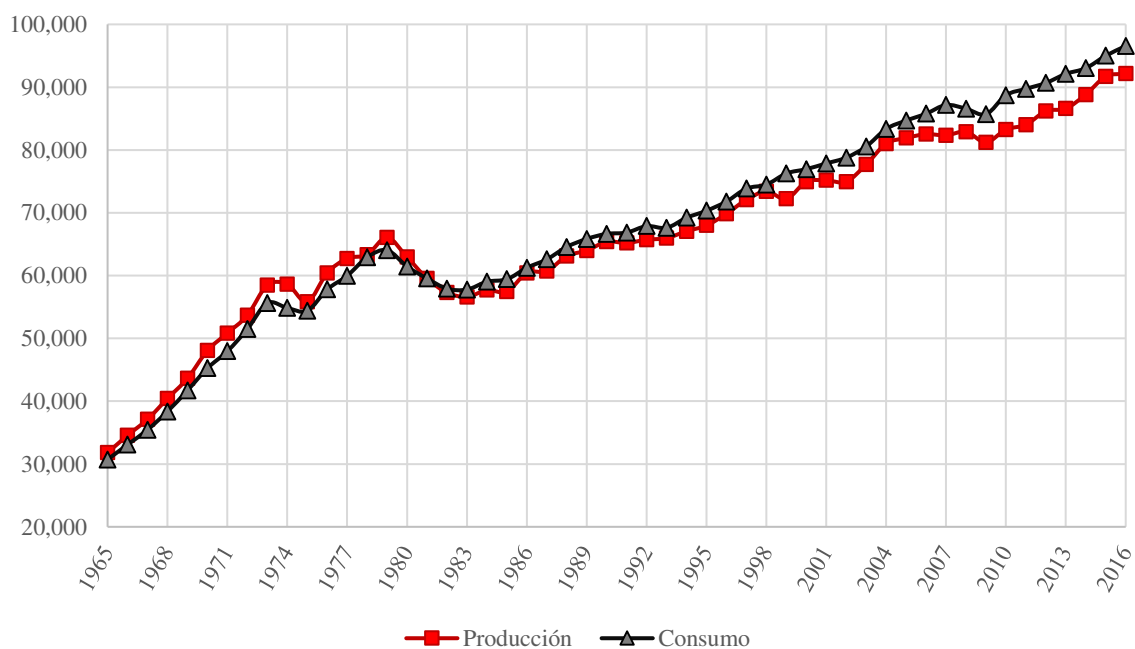


Fuente: Elaboración propia con base en U.S. Energy Information Administration.

Lo interesante del análisis de Hubbert fue que su razonamiento se basó con una analogía, la cual supone que hay una laguna llena de peces, donde hay una cierta especie que abunda en grandes cantidades. En un tiempo inicial se encuentra un solo pescador.

Evidentemente, este primer pescador tendrá la dicha de pescar diariamente, ignorando la velocidad de agotamiento del stock de peces en el lago. ¿Qué pasa cuando una gran cantidad de pescadores se entera de este lago y llegan a este lugar para aprovechar su abundancia? Poco a poco se va acelerando su escasez; cuantos más peces ya se han pescado, más lenta se vuelve la respuesta a los anzuelos, hasta un punto en el que se torna difícil pescar al último. En este sentido, está claro que los pescadores son las empresas petroleras y los peces el petróleo, sin embargo, a diferencia de los últimos ejemplares, para desdicha de las multinacionales, el petróleo es un recurso no renovable, y después de lo sucedido en Estados Unidos, que fue el primer productor de crudo en el mundo, en la década de los ochenta comenzaban a verse los efectos de la teoría del pico del petróleo de Hubbert en la producción de este recurso a nivel internacional, cuando la demanda superó a la oferta después del primer shock petrolero (véase gráfica 1.2.2).

Gráfico 1.2.2. Producción y consumo de crudo internacionales, 1965-2016
(millones de barriles diarios)



Fuente: Elaboración propia con base en British Petroleum.

En respuesta a dicha preocupación, los gobiernos comenzaron a idear alternativas ante una crisis energética que se avecinaba a pasos agigantados. La cuestión central es que no se ha reducido la dependencia de los hidrocarburos, lo que explica su sobreexplotación. De

hecho, existe un término que comenzó a ser utilizado en el procesamiento de señales, la electrónica y el análisis de sistemas llamado *overshoot*, y que después sería adaptado al contexto de la teoría económica. Este término traducido al español significa “excederse”, que en términos de la Real Academia Española es “proposarse, ir más allá de lo lícito o razonable”. Y es precisamente lo que algunos organismos internacionales, como la Organización de las Naciones Unidas (ONU), han encontrado y, por tanto, han hecho el llamado de atención hacia la sociedad sobre los peligros que acechan. Mediante distintas métricas e indicadores (véase tabla 1.2.1), se puede observar que las actividades humanas y el consumismo durante generaciones ha derivado en severos impactos ambientales que hoy en día ponen en riesgo la vigencia del sistema de producción capitalista.

Tabla 1.2.1. Evolución de las actividades humanas
(años e indicadores seleccionados, cantidades en millones de unidades)

Indicador	1980	1990	2000	2010	2017
Población mundial	4,439	5,309	6,126	6,930	7,550
Automóviles producidos	38.5	48.5	58.4	77.5	97.3
Consumo de petróleo (toneladas)	2,986	3,160	3,589	4,076	4,470
Consumo de gas natural (equivalente a la tonelada de petróleo)	1,291	1,767	2,182	2,731	3,156
Consumo de carbón (equivalente a la tonelada de petróleo)	1,823	2,246	2,385	3,606	3,731
Consumo de energía nuclear (equivalente a la tonelada de petróleo)	161	453	584	626	596
Generación de electricidad (terawatt/hora)	9,882 ¹	11,914	15,510	21,578	25,551
Emisiones de GEI (kt de CO ₂ equivalentes)	24.2	32.4	35.4	44.7	49.3
Área selvática (incluyendo bosques, kilómetros cuadrados)	N.D.	41.3	40.5	40.1	39.9 ²
Área urbana (kilómetros cuadrados)	201.0	219.1	238.1	263.5	277.4 ³
Basura municipal generada ⁴ (países OECD y otros ⁵)	N.D.	0.606	0.870	0.957	0.674 ⁶

Notas:

1 Valor tomado de 1985 (BP).

2 Valor tomado de 2015 (World Bank).

3 Valor tomado de 2016 (Our World in Data, Oxford University).

4 Indicador estimado (OECD). No hay disponibilidad de datos en toda la serie estadística.

5 Brasil, China, Colombia, Costa Rica, Indonesia y Rusia.

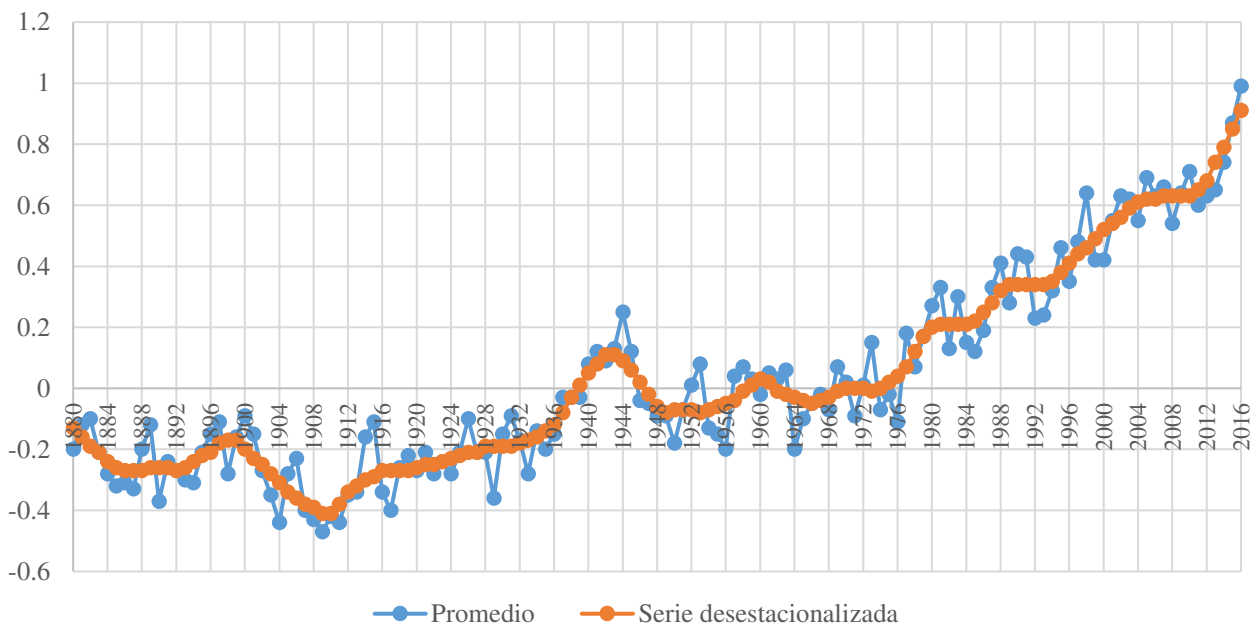
6 Valor tomado del año 2016 (OECD).

N.D. Valor no disponible.

Fuente: Elaboración propia con base en estadísticas de British Petroleum (BP), European Commission (EC), Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles (OICA), Our World in Data (Oxford University), US Dept. of Energy, US Energy Information Administration (EIA) y World Bank.

En efecto, como se observa en el cuadro anterior, el crecimiento de la población puede explicar en gran parte el aumento en el consumo de los diferentes bienes y servicios presentados en la misma tabla, lo cual también puede estar fuertemente relacionado con el aumento de la población urbana y un mayor consumo de los recursos naturales, tanto renovables como no renovables. Una vez que crecen las urbes, crece la necesidad de bienes finales (automóviles, vivienda, hospitales, telecomunicaciones, etcétera), pero esta producción depende íntimamente del consumo de energía eléctrica, la cual es producida en su mayoría con recursos fósiles. Es entonces que encontramos uno de los problemas que es de importancia internacional, el cual no sólo es la dependencia de los hidrocarburos para mover las industrias y generar electricidad, sino también el impacto de los gases de efecto invernadero (GEI) sobre la atmósfera que derivan de las distintas actividades económicas.

Gráfico 1.2.3. Temperatura promedio de la Tierra, 1880-2016
(grados centígrados)



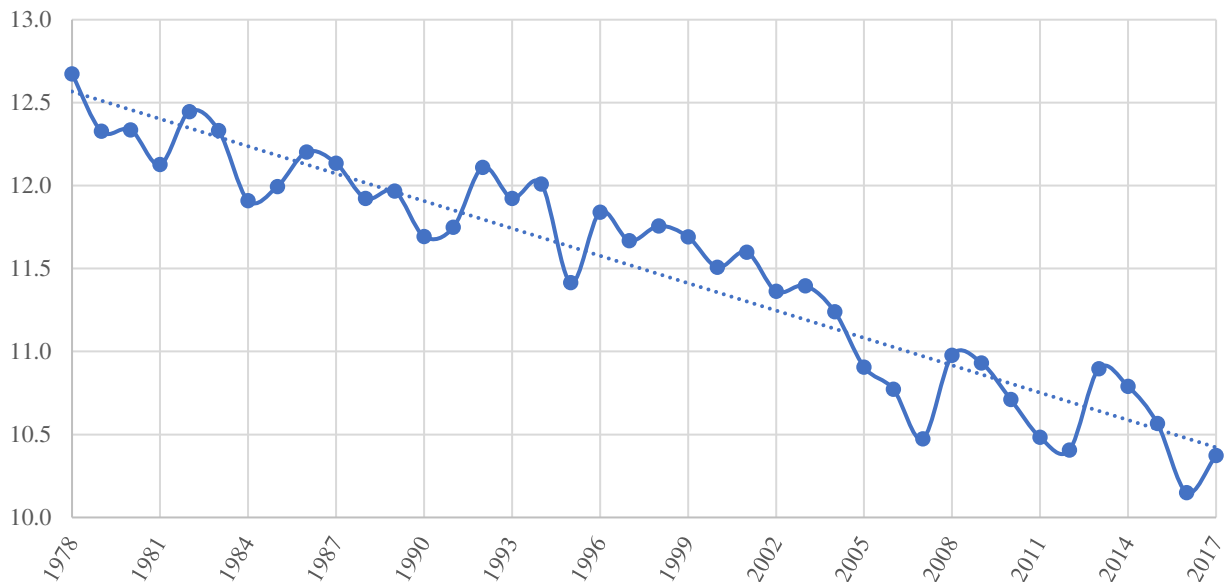
Nota: La serie está desestacionalizada por simple ejercicio de la observación de la tendencia.

Fuente: Elaboración propia con base en datos de Goddard Institute for Space Station, NASA.

Con base en los estudios realizados por la National Aeronautics and Space Administration (NASA), se ha reportado un importante incremento en la temperatura media del planeta Tierra desde que comenzaron los estudios climáticos en 1880 (véase gráfica

1.2.3), fenómeno que se le asignó el nombre de “calentamiento global”, el cual está asociado a la medición rutinaria de la temperatura atmosférica en estaciones meteorológicas. Gracias a este indicador, a nivel mundial se ha dado a conocer el problema del “cambio climático”, concepto que engloba todas las variaciones del clima que han ocurrido durante la historia del planeta, pero que recientemente ha tenido una relación directa con fenómenos como el incremento en el nivel del mar, los cambios en la composición de la atmósfera, los efectos nocivos y constantes de la radiación solar sobre la superficie terrestre, entre otros. Los problemas anteriores se explican en su mayoría por el “efecto invernadero”, el cual, en forma sintética, se refiere al mecanismo por el cual la atmósfera de la Tierra se encuentra en un estado de calentamiento gradual¹.

Gráfico 1.2.4. Extensión de hielo en el hemisferio Norte, 1978-2017
(millones de kilómetros cuadrados)



Fuente: Elaboración propia con base en National Snow and Ice Data Center, NASA.

¹ La atmósfera terrestre está compuesta en su mayoría por dos elementos importantes: Nitrógeno (N), en un 79%, y Oxígeno (O), en un 20%. El 1% restante está compuesto por Argón (Ar) y Dióxido de Carbono (CO₂). Este último va a contribuir junto con la luz solar (de alta energía) al deterioro de la misma. Esto es, del total de la luz que llega al planeta Tierra, el 30% se refleja y retorna hacia el espacio exterior. La atmósfera, entonces, retiene el 20% de la energía solar y el resto (50%) llega hasta la superficie terrestre, generando calor. Una vez que se calienta la superficie de la Tierra, la energía solar se transforma en radiación de baja energía que nuevamente es reflejada hacia la atmósfera. Esa onda de energía, una vez que retorna a la atmósfera, es absorbida por los GEI –particularmente por el CO₂– en la Tropósfera (capa donde se desarrollan todos los procesos meteorológicos y climáticos), impidiendo que salga del planeta Tierra, contribuyendo a que el aire alrededor de la atmósfera se caliente y se desprenda más calor en conjunto con la luz directa del sol (véase, por ejemplo, Caballero et al, 2007).

Uno de los resultados más conocidos y difundidos por la comunidad científica, relacionado con los fenómenos anteriores, ha sido que en los últimos treinta años se han perdido grandes extensiones de hielo flotante en el hemisferio Norte del planeta (véase gráfica 1.2.4), lo cual se asume que ha llevado a la desestabilización de la temperatura y ha provocado drásticos episodios meteorológicos en diferentes regiones del planeta.

La gran incertidumbre que ha generado este deshielo y el conjunto de problemas que se suman a la variación de la temperatura, tanto causas como efectos, llamaron la atención de la comunidad internacional desde la década de los años setenta para encontrar alternativas al problema ambiental. Las propuestas han ido evolucionando en sus planteamientos hasta hoy, hasta encontrar una salida a la crisis ambiental por medio de la adopción de una *economía verde*, término que se utilizó por primera vez en el informe “Blueprint for a Green Economy”, documento redactado por el gobierno del Reino Unido y presentado por un grupo destacado de economistas ambientales en 1989 (Barbier, 2009, en Kazstelan, 2017).

Tras la crisis mundial de las hipotecas Sub-Prime en Estados Unidos, en 2008, el concepto de *economía verde* fue “refrescado” y contextualizado al Programa de las Naciones Unidas por el Medio Ambiente (PNUMA), lanzando esta iniciativa que proponía sustentar el crecimiento económico a partir del uso de energías limpias, la explotación racional y adecuada de los recursos naturales renovables y no renovables, el reciclaje de los mismos y el desarrollo de tecnologías “verdes”, con lo cual se conseguirían soluciones que propiciarán el equilibrio medioambiental, enfatizando el interés por la reconstrucción económica y el fortalecimiento de la estabilidad de la economía mundial.

Aunque en la literatura existen muchas definiciones del mismo término, la que se considera más completa es la presentada por el PNUMA, donde se define como aquella “que da como resultado un mejor bienestar humano y equidad social, a la vez que se reduce significativamente los riesgos ambientales y la escasez ecológica. Es baja en carbono, eficiente en el uso de los recursos y socialmente inclusiva” (PNUMA, 2011). Pero esta definición fue cuestionada por no cumplir con ciertos parámetros que dice defender, en el sentido de que queda inmersa dentro de un sistema inequitativo que no garantiza el acceso a un bienestar generalizado para toda la población, ya que son pocos los estratos de la sociedad que pueden acceder a este tipo de economía.

No obstante, aún con todas las críticas hacia este enfoque, se han hecho grandes esfuerzos y acciones por mitigar el “calentamiento global” a partir de esta conceptualización. De hecho, uno de esos primeros esfuerzos fue el establecimiento de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), producto del primer informe del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) que se fundó en 1988, y que más tarde sería presentada y adoptada por más de 150 países en la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro en junio de 1992. Esta Convención fue parte del proceso que se puso en marcha a partir del *Informe Brundtland*, y su objetivo fue fomentar el *desarrollo sostenible*, es decir, “un desarrollo que satisficiera las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” (WCED, 1987), y que fue la respuesta a la pregunta sobre cómo mantener el equilibrio entre las necesidades humanas y los peligros de la degradación ambiental. Pero este concepto no sería el primero en ser la respuesta, de hecho, el concepto tiene una historia muy larga, tal como se presentará en el siguiente apartado.

1.2.2 Antecedentes al Desarrollo Sostenible

Históricamente, el concepto de la sostenibilidad no se debe a las ciencias sociales, que lo han adaptado a sus diferentes disciplinas y teorías, sino que éste surgió en las ciencias forestales de la Alemania del siglo XVIII. “Nachhaltigkeit” fue el término acuñado por Hans Carl von Carlowitz en 1713, quien expresó su preocupación por la preservación de los bosques europeos, presentando procesos silvícolas para aumentar el rendimiento de los bosques (Paavilainen, 1994, citado en Schmutzenhofer, 1994). Casi un siglo después, en 1804, G. L. Hartig, se encargaría de darle un significado explicando que “todo director forestal sabio debe haber evaluado los rodales forestales [...], utilizarlos en la mayor medida posible, pero de una forma que las futuras generaciones tengan al menos tanto beneficio como la generación viviente” (Schmutzenhofer, op. cit.). Y nuevamente pasaría otro siglo para que la definición se complementara con la idea de que el ser humano tiene la responsabilidad de entregar los recursos naturales tal cual se encontraban al principio de su generación. En 1975, el concepto fue definido como:

Para cumplir con nuestras obligaciones con nuestros descendientes y estabilizar nuestras comunidades, cada generación debe mantener sus recursos a un alto nivel y

entregarlos sin disminuir. El rendimiento sostenido [...] es un aspecto de la necesidad más fundamental del hombre: sostener la vida misma (Duerr y Duerr 1975, citado en Wiersum, 1995).

De hecho, hasta 1983 se habían podido identificar siete definiciones diferentes al término alemán “Nachhaltigkeit” (Peters and Wiebecke, 1983, en Wiersum, op. cit.). Pero más tarde, se lograría establecer la definición general con el informe *Nuestro Futuro Común* (o *Informe Brundtland*), que hasta entonces sería la más reciente y más citada definición del *desarrollo sostenible*, que enfatiza la preocupación ambiental y la equidad intergeneracional a partir del argumento del *bienestar*.

Pero este desarrollo del que se habló sólo será posible de acuerdo a las capacidades humanas que se logren en el trayecto, esto es, la conciencia de los residentes debe estar enfocada hacia la preservación de los ecosistemas, adoptando o creando instituciones enfocadas hacia el cuidado medioambiental (por ejemplo, la familia de las normas ISO 14000) o emprendiendo organizaciones de base tecnológica –con o sin fines de lucro– para contribuir en la reducción del impacto ambiental que generan los procesos de producción tradicionales. Por ejemplo, siendo más eficientes, dándole una importancia al ciclo del producto; sin demasiados desperdicios y sin prácticas oportunistas por tratar de encontrar la estructura de costos mínima a costa del deterioro biofísico. Es aquí donde podría entrar una de las características del institucionalismo histórico, donde las instituciones adoptan un carácter endógeno para la solución de problemas, en cuyo caso, la preocupación de las organizaciones por su permanencia en el largo plazo dentro de las actividades económicas.

1.2.3 La sostenibilidad desde la perspectiva de la Economía Ecológica

Existe un fuerte vínculo –aunque en ocasiones no tan evidente– entre la actividad económica y los principios sobre los que se sostienen las cuestiones ambientales. Esta relación surge a partir de los trabajos de David Ricardo y Karl Marx (Naredo, 1987), pero se tornó aún más fuerte a partir de la década de los sesenta cuando las actividades económicas empezaron a impactar de manera directa a los ecosistemas, es decir, las llamadas externalidades.

Los primeros estudios en abordar los aspectos negativos de los procesos económicos surgieron con los aportes de la Economía del Bienestar en los años veinte y de la Economía

Ambiental en los años sesenta del siglo XX. Al frente de la primera se encontraba A. Pigou, quien atribuyó un importante papel a la intervención del Estado en las actividades económicas con el fin de neutralizar o disminuir estas externalidades, estableciendo impuestos que compensaran los excesivos costos sociales derivados de los beneficios empresariales. Cuatro décadas más tarde, la economía ambiental surgió como la base para estudiar el problema de estas externalidades y la asignación intergeneracional de los recursos escasos. Esta se sostiene, a su vez, por los aportes de la teoría de las externalidades de Marshall y Pigou, la teoría de los bienes públicos de J. Wicksell y H. Bowen, la teoría del equilibrio general de L. Walras, y el campo de aplicación del análisis del coste-beneficio (Aguilera y Alcántara, 1994), por lo que sus primeros aportes se basaron en un intento por valorar tanto los recursos naturales como los daños ambientales ocasionados por las actividades humanas asignándoles una cifra monetaria.

De lo anterior, además de otras cuestiones que no se abordarán en esta investigación, el debate y las críticas dirigidas a la valoración del capital natural², sobre todo al análisis del costo-beneficio, llevan a mencionar que las ideas propuestas por los economistas ambientales tienen serios problemas en sus técnicas y planteamientos, en especial por querer valorar aquellos bienes que tienen un valor de uso, pero no de mercado. Este enfoque, además de tener una enorme carga de subjetivismo, genera muchas contradicciones y metodologías con ideas difíciles de establecer en el mundo real, agregando que su enfoque se olvida completamente de la importancia del capital natural y su función dentro de los modos de producción (Aguilera y Alcántara, op. cit.). De hecho, el enfoque neoclásico por mucho tiempo sostuvo que los recursos naturales podían ser sustituidos de manera “ilimitada”, siempre y cuando se disponga de forma implícita la participación del progreso técnico, lo que llevó a pensar a los economistas neoclásicos que mientras haya sustituibilidad entre el capital humano y el capital físico, el agotamiento de los recursos naturales no representa una amenaza para la posibilidad de un consumo sostenible (Martínez y Roca, 2013).

A raíz de esto último es que dos décadas más tarde, hacia inicios de los años ochenta, autores como Herman Daly, William Kapp, Joan Martínez Alier, entre otros, partiendo del

² Entiéndase por capital natural al “conjunto de ecosistemas, tanto los naturales como los manejados por la humanidad, que generan bienes y servicios, y son perpetuables, ya sea por sí mismos o por el manejo humano” (Sarukhán et al, 2009: 11).

análisis de la visión ortodoxa de la economía ambiental y tomando como antecedentes los trabajos del economista Nicholas Georgescu-Roegen, comenzaron a darle forma a un enfoque alternativo que ponía énfasis en la visión de los ecosistemas y los flujos de materia y energía, la llamada Economía Ecológica, la cual comenzará dando una respuesta general a las ideas neoclásicas acuñando los grados de sostenibilidad –si pueden llamárseles así–, los cuales serán: muy débil, débil, fuerte y muy fuerte (Pearce y Atkinson, 1992; Turner, 1993). En este trabajo, el nivel que interesa para discutir el debate entre ambas economías, la neoclásica y la ecológica, es la “sostenibilidad fuerte”, que será todo lo contrario a la postura neoclásica, es decir, sostiene que no todo capital natural puede ser fácilmente sustituible de otros capitales, ni que todo tiene un valor económico como lo establecía la economía ambiental. Asimismo, asume que las actividades productivas del sistema socioeconómico deben reconocer su interdependencia de los ecosistemas para poder funcionar. Lo importante de esta postura es que defiende que ciertos capitales naturales deben ser conservados tal cual los concibió la naturaleza, ya que, si estos recursos llegan a convertirse en capital de formación humana, difícilmente pueden retornar a su estado original una vez que fueron utilizados.

Aunado a lo anterior, otro elemento importante que hay que considerar de esta disciplina es que busca construir un vínculo entre los procesos económicos y los sistemas naturales por medio de la unión de sus planteamientos teóricos. Además, asumiendo que existen procesos biológicos que no pueden ser explicados desde la economía, y viceversa, siendo esta una justificación de que es menester la cooperación entre ambas áreas para establecer de cierto modo una postura que contribuya a entender mejor los fenómenos que sólo en conjunción pueden ser explicados. Por ello, la Economía Ecológica insiste en la relación que puede haber entre un sistema natural y un sistema económico, llegando a establecer un solo sistema en el que ambos pueden presentar su interdependencia. Es, de hecho, la degeneración del medio ambiente y el agotamiento de los recursos naturales a partir de la década de los sesenta y su relación con los procesos económicos lo que hará evidente que los sistemas se encuentran abiertos e íntimamente relacionados y no al contrario de lo que se había establecido en el pensamiento de los fisiócratas (Kapp, 1978, en Carrillo, 2006).

Por otro lado, se refuerza la idea de ver a la economía como un sistema abierto a la energía del sol y cerrado al flujo de materiales (Carrillo, op. cit.), el cual se interrelaciona con otros, o que éste es parte más de un conjunto de sistemas, por lo que se abre la discusión a partir de la articulación de tres nociones biofísicas fundamentales, las cuales fueron establecidas por Georgescu-Roegen (1971), y son:

1. Primera Ley de la Termodinámica, la cual establece que la materia y la energía no se crean ni se destruyen, sólo se transforman, lo que justifica la imposibilidad de que los recursos naturales, incluyendo la energía, son infinitos, además de defender la idea de que los residuos son parte inherente de las actividades económicas.
2. Segunda Ley de la Termodinámica o Ley de la Entropía, la cual describe que la materia y la energía se desgastan de forma continua y sin que logren restablecerse como estaban en un principio, independientemente del uso o desuso de éstas. Sólo la materia y energía disponibles se considerarán las generadoras de valor; en contraste, aquellas que no estén disponibles para su uso, sólo serán residuos en el sentido de la termodinámica.
3. La tercera noción opera en dos sentidos. El primero sostiene que los ecosistemas tienen cierto límite para asimilar los residuos que son resultado de las actividades económicas. Y el segundo hace la advertencia de que es importante realizar la extracción de los sistemas biológicos a un ritmo en el que no atente contra su proceso de renovación (Daly, 1990), tal como lo asume el *desarrollo sostenible*, pues de lo contrario, es probable que pudiéramos acabar con nosotros mismos indirectamente.

En términos técnicos, la Ley de la Entropía es la más importante para discutir y criticar el actual modelo de la economía convencional, ya que la visión ortodoxa siempre ha logrado establecer un flujo económico lineal, en el que pone a la naturaleza en segundo plano, donde la última etapa del ciclo del producto se encuentra en sumideros de alta entropía, es decir, aquellos lugares del planeta donde se almacenan los desechos que nunca más volvieron a ser considerados en la cadena productiva inicial ni reorientados a otros sectores de la economía que bien podrían sacarle un mejor provecho a algunos materiales, más allá de sólo reciclarlos, lo cual se sostiene precisamente por la primera Ley de la Termodinámica.

Tal vez la economía ortodoxa asume parte de esta primera Ley, referente a que los residuos son parte inherente de cualquier proceso de producción, empero, a diferencia de esta visión que a la fecha sigue presente, la Economía Ecológica pone a la segunda Ley en el centro de sus reflexiones, asumiendo —desde luego— que todo proceso económico es entrópico por naturaleza en cualquiera de sus etapas materiales, además, aún más importante, reconoce que sólo una parte de estos residuos provocados por las actividades humanas puede ser asimilado por el planeta; el resto nunca más será útil. Y es esto último lo que nos lleva a la discusión de que, si se quiere lograr completar un proceso circular en el que todo residuo pueda ser procesado y nuevamente considerado dentro de los procesos industriales, necesariamente se requiere del uso de energía. Esto es, retornar materiales siempre exige prescindir de energía, en ocasiones más que cuando inicialmente se crearon los mismos, por lo que el reciclado o la reutilización de éstos puede ser un ciclo posible, pero imperfecto en diversos casos, pues aquellos elementos que no pueden ser nuevamente asimilados por la Tierra sólo podemos imaginar el uso de una cantidad estratosférica de energía para hacer la tarea de desintegrarlos o convertirlos en materiales de baja entropía, algo que suena imposible para los residuos nucleares, o la misma energía despilfarrada que jamás podrá ser reutilizada.

Pero estos residuos son generados, en gran parte, porque no existe un límite a nivel planetario que sea tan evidente para que no sólo los líderes o tomadores de decisiones estén concientes del peligro que nos acecha como seres humanos. Ya no hablemos de los políticos, porque en la mayoría de los casos son los empresarios los que generan campañas de marketing que difícilmente se orientan hacia una conciencia ecológica. Al contrario de lo anterior, estimulan a los consumidores de seguir comprando bienes y servicios para satisfacer ciertos estereotipos que sólo los confunden para continuar endeudándose, sin ver que la deuda más grande no la tienen con los bancos, sino con la biósfera. Es esta desmesura la que aspira a la liquidez del mundo entero hacia una economía mundial que por mucho tiempo ha avanzado con números rojos, la cual se ha dedicado a generar la virtual “riqueza” monetaria tomando prestado de la naturaleza, de la humanidad, de los bienes comunes, sin intención de saldar la deuda, tan sólo de posponerla en, precisamente, los tiraderos de alta entropía.

El crecimiento económico no necesariamente puede traducirse en el desarrollo de la humanidad, por lo que se debe analizar cuál es la mejor manera de hacer del progreso una forma de estabilizar la economía sin perjudicar el bienestar de las personas, ni mucho menos comprometer el verdadero *desarrollo sostenible*. Por ello, en este trabajo se asume la gran importancia que tienen las instituciones y su rol en el cuidado del medio ambiente, las cuales pueden gestionar prácticas como la sustitución de energías convencionales por energías limpias, el uso de materiales que pueden ser asimilados no sólo por el planeta, sino readaptados a las mismas cadenas productivas iniciales o que puedan ser trasladados a otras, sin olvidarlos y dejar que la Tierra tarde en descomponerlos con el paso de los años, algo que no es sano ni para los ecosistemas ni para las mismas personas, hablando de las partículas que se quedan en el aire o las sustancias tóxicas que logran llegar a los mantos acuíferos.

Capítulo II. Metodología de investigación

2.1 Introducción

Todo tipo de investigación empírica tiene en sí un diseño de investigación implícito (Yin, 1994). Este diseño es, por sí mismo, la secuencia o los lazos que conectan la parte empírica con las preguntas de investigación y con la parte final de las conclusiones. En resumen, se describe al diseño de investigación como una guía que sirve para que al investigador se le facilite el proceso de recolección, análisis e interpretación de las observaciones, con lo cual puede sacar conclusiones sobre las relaciones causales entre las variables de observación durante el proceso de su investigación (Yin, op. cit.).

“Es mucho más que un plan de trabajo” (Yin, op. cit.: 20), ya que no busca resolver un problema logístico, sino un problema lógico. En este sentido, en este capítulo se explica cómo se llevó a cabo esta investigación. En las dos siguientes secciones se muestran el tipo de investigación que se llevó a cabo y el proceso de selección del caso. Finalmente, en las últimas dos secciones se describen las fuentes de información que se consideraron para el trabajo empírico, así como el análisis que se realizó con la información recopilada durante el mismo.

2.2 Tipo de investigación

Para llevar a cabo un estudio de caso, las preguntas iniciales y la unidad de análisis serán las que condicionarán el eje de la investigación. Preguntas del “cómo” y el “por qué” sobre un fenómeno actual son preguntas más apropiadas para elegir la metodología del estudio de caso (Yin, op. cit.), por tal motivo, esta investigación será dirigida bajo esta estructura.

La unidad de análisis de esta investigación serán las barreras u oportunidades que derivaron de la Reforma Energética de 2013 para el desarrollo tecnológico de la industria solar fotovoltaica en México.

Por otro lado, este trabajo se basa en un estudio de caso simple, de tipo *incrustado* con múltiples unidades de análisis. El estudio de caso *incrustado* se enfoca en una unidad principal, como un todo, que abarca a miembros individuales o varias unidades intermedias que pueden agregar información u oportunidades significativas para un análisis más extenso,

mejorando así los conocimientos que se tienen sobre el caso individual o unidad principal. En cada nivel de análisis, se utilizan diferentes técnicas de recopilación de datos, desde análisis históricos hasta encuestas (Yin, op. cit.).

Con este tipo de investigación se busca comprender por métodos cualitativos el surgimiento de la industria solar fotovoltaica en México, destacando a la unidad principal de análisis como principal fuente de información, así como la realidad experimentada por aquellas organizaciones que forman parte de la unidad principal.

2.3 Proceso de selección de los casos

Una exploración de aquellas organizaciones que conforman la cadena de valor de la industria solar, tanto fotovoltaica como termosolar en México, permitió identificar a dos asociaciones que han sido importantes para el desarrollo de esta industria a lo largo y ancho del territorio. La Asociación Nacional de Energía Solar (ANES) y la Asociación Mexicana de Energía Solar (ASOLMEX), las cuales son asociaciones civiles que han trabajado muy de cerca con el Gobierno Federal para la elaboración de políticas públicas orientadas a la promoción y adopción de energías renovables.

ASOLMEX, fue seleccionada para atender a los objetivos de esta investigación, debido a que es una organización que surge a raíz del surgimiento de la Reforma Energética de 2013, y también porque en este caso se encontró la apertura, amabilidad y disposición de sus colaboradores. Por lo tanto, esta asociación es considerada la unidad principal de análisis de la cual se extraerá la información principal que apoyará los objetivos de este estudio.

Finalmente, a través de ASOLMEX, cuya función consiste en vincular a todas las personas físicas y morales relacionadas de manera directa o indirecta con la generación de energía solar fotovoltaica, fue posible identificar a dos organizaciones que serán los casos *incrustados* de esta investigación: Gauss Energía, dedicada a la generación solar fotovoltaica de gran escala, y Enlight, dedicada a la generación solar distribuida; ambos sub-sectores representan dos de los pilares más importantes de la cadena de valor en la industria solar fotovoltaica a nivel nacional.

2.4 Fuentes de información

Para poder realizar un acercamiento sobre las barreras u oportunidades existentes que se generaron a partir de la Reforma Energética, se realizó una guía de entrevistas para el trabajo de campo, el cual fue realizado dentro de las tres organizaciones, o unidades de análisis, que se presentaron en la sección anterior. El objetivo de captar esta información fue ayudar a responder las preguntas de investigación planteadas y esclarecer los inicios, así como su desarrollo y crecimiento, de la industria solar fotovoltaica en México.

Dado que hay muchos posibles temas que giran alrededor del desarrollo tecnológico dentro de este subsector energético, los principales tópicos de las entrevistas que se tomaron en consideración fueron los siguientes:

Sección 1. Antecedentes y trayectoria de la organización.

Sección 2. Estructura organizacional y detalles internos.

Sección 3. Financiamiento interno y externo de la empresa.

Sección 4. Recursos Humanos y Capacitación.

Sección 5. Propiedad intelectual y transferencia de tecnología.

Sección 6. Comercio nacional e internacional.

Sección 7. Percepción de la empresa en temas de economía circular, competencia en el mercado, recomendaciones institucionales y de cuestiones a futuro a ser consideradas.

Cabe aclarar que en la entrevista a las tres organizaciones se orientó la discusión y algunas dudas particulares de esta investigación hacia la opinión que tenían los informantes (o personas entrevistadas) sobre la Reforma Energética.

Por otro lado, y para documentar la situación del subsector solar en México, se presenta un análisis estadístico acerca de las ventajas comparativas del clima mexicano para el establecimiento de empresas dentro del subsector de la energía solar. Asimismo, en materia de los avances de este subsector desde que se llevó a cabo esta reforma, se realizó un análisis de la evolución de algunos indicadores, tales como la capacidad y generación de energía solar fotovoltaica, la capacidad instalada y generación de las diferentes centrales

solares por región en el país, el creciente número de empresas que ofertan los servicios eléctricos por medio de esta fuente, así como la evolución de la matriz energética de México, enfatizando el uso y aprovechamiento de la energía solar así como la tecnología disponible en territorio nacional para la producción de electricidad y las ventajas y desventajas que tiene esta fuente en particular respecto a las demás, tanto renovables como no renovables.

2.5 Análisis de los resultados de los casos

La información recopilada de las entrevistas se analizó y se realizaron tres actividades principales:

- 1) Se transcribieron en su totalidad las entrevistas, mismas que fueron grabadas en teléfono celular, iPad y, sólo en el caso de ASOLMEX, laptop. Además, se analizaron algunos documentos que fueron proporcionados por las empresas y se realizaron algunos diseños que contenían información importante, específicamente de la empresa Enlight.
- 2) Se sistematizó la información de las tres entrevistas de tal manera que hubiera una correspondencia de las respuestas con la guía de entrevistas establecida. Esto permitió esclarecer algunos detalles y hacer sugerencias sobre próximas preguntas que dejaron información importante a considerar.
- 3) En función de las respuestas obtenidas, se compiló un solo cuerpo de información para responder las preguntas de investigación y hacer parte de las conclusiones de este trabajo.

Capítulo III. La Reforma Energética de 2013 en México

3.1 Introducción

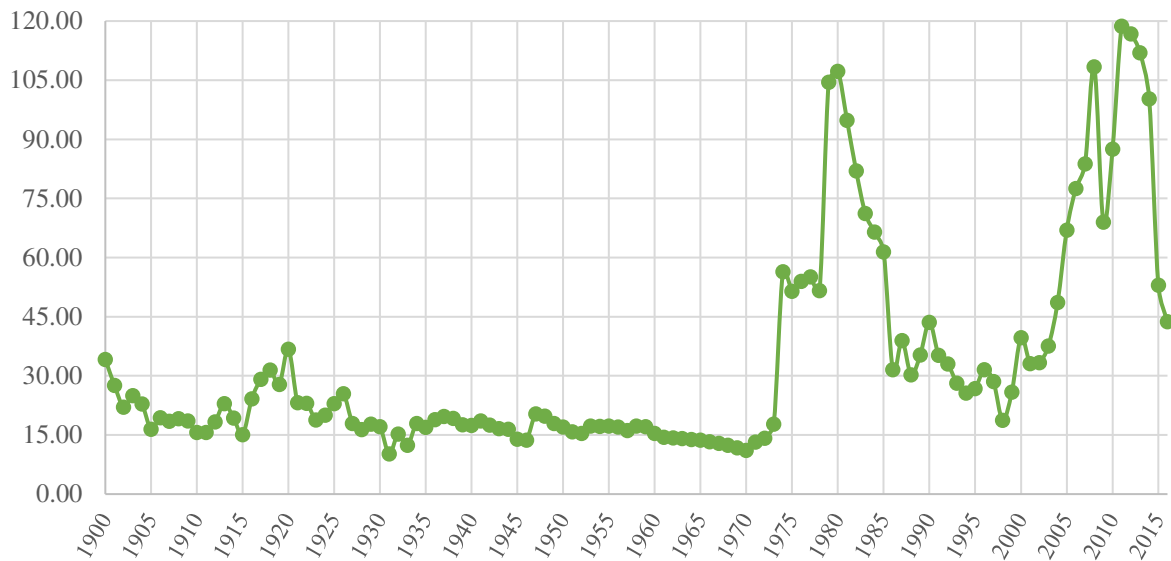
Hoy en día, los estudios enfocados hacia la medición de los gases de efecto invernadero (GEI) se deben, en un principio, al estudio pionero de Charles David Keeling realizado en el Observatorio del Mauna Loa, Hawái, en 1958, con el cual los científicos comprendieron que la biosfera terrestre y los océanos no podrían absorber más que una pequeña fracción de las emisiones de CO₂ existentes y que, tanto las concentraciones atmosféricas como el efecto invernadero que las acompañaría, aumentarían significativamente (Harris, 2010). Años después, a principios de la década de los setenta, surge el Informe del Club de Roma “Los límites al Crecimiento”, que no sólo sería un complemento a lo que Keeling había descubierto, sino que este informe predijo, a través de diversos escenarios, que los recursos naturales para la supervivencia de los seres humanos podrían agotarse en una o dos generaciones si continuaban las actividades humanas sin cambio o mejora alguna (Meadows, Meadows, Randers y Behrens, 1993).

Justo con la primera crisis petrolera de 1973, la Guerra árabe-israelí (o Yom Kippur) y el embargo petrolero de la Organización de Países Árabes Exportadores de Petróleo (OPEP) hacia occidente y principalmente a Japón, a nivel mundial se evidenció que el modelo energético dominante no podía continuar funcionando a largo plazo, en especial por los graves riesgos que deberían tomar los países más desarrollados e industrializados, altamente dependientes del petróleo y sin reservas del mismo. Por ello, varios países de la Unión Europea se dieron a la tarea de buscar otras fuentes que pudieran sustituir en cierto grado esta dependencia de los hidrocarburos.

Aunado a lo anterior, transcurrida la década de los setenta, se produjeron eventos tanto importantes como preocupantes en el mercado petrolero que sacudieron al mundo, empezando por el precio del petróleo y sus derivados que pasó de 11 dólares por barril de crudo en 1970 a 107 dólares en sólo 10 años (véase gráfica 3.2.1), lo que generó una gran incertidumbre sobre el suministro y el sostenimiento energético mundial. Desde luego, los altibajos en los precios del crudo continuaron y a ello se sumó el problema de los GEI, provocados en su mayoría por el alto consumo de petróleo, gas natural y carbón mineral, los

principales combustibles del mundo. Derivado de los datos anteriores, los países industrializados, principalmente de la Unión Europea, frente a los altos costos de los hidrocarburos comenzaron a buscar opciones para reducir su dependencia de las fuentes convencionales de energía, sobre todo se han multiplicado los esfuerzos por innovar en las formas de obtención de energía eléctrica en los últimos casi 50 años, por los saltos abruptos del precio internacional de estos recursos.

Gráfico 3.2.1. Precio internacional del petróleo, 1900-2016
(US\$2016/barril)



Fuente: Elaboración propia con base en estadísticas del BP.

Como es sabido, es la volatilidad del precio de los hidrocarburos lo que afecta a todos los países que participan activamente en el comercio de estos mismos, en especial aquellos cuyo producto interno (o PIB) depende en gran medida del flujo comercial de estos recursos. Entre ellos se encuentra México, que si bien en los últimos años ha diversificado la matriz comercial, las exportaciones del sector automotriz representaron más del 30% respecto de las exportaciones de la industria manufacturera; en tanto que los teléfonos móviles y computadoras, entre otros electrodomésticos, reportaron un 38%,³ por lo que podemos decir que México está fuertemente influenciado por la maquila, y ya no tanto por la exportación de recursos naturales no renovables (petróleo crudo, principalmente), que sólo representaron el 4% en el año 2016. Empero, no hay que olvidar que durante décadas el país fue visto como

³ Para más datos referentes a la balanza comercial de México, pueden consultarse en la página Web de la OEC: <https://atlas.media.mit.edu/es/>

un importante abastecedor de petróleo al mercado internacional y que por una década mantuvo el segundo lugar como productor y exportador de hidrocarburos, tan sólo detrás de Estados Unidos (Uthoff, 2010). Aún en la actualidad, las instituciones más importantes que se han atendido fuertemente son aquellas que están orientadas hacia el sector energético, por lo que será importante rescatar lo que ha sucedido en este sector a partir de la década de los sesenta hasta lo más reciente, específicamente en materia de energías renovables a partir de la Reforma Energética de 2013, por lo que en los siguientes apartados se describirán los antecedentes de México en materia de energías limpias y su persecución de un *desarrollo sostenible*.

3.2 Antecedentes en materia del Desarrollo Sostenible y de Energías Renovables

Antes de la década de los años noventa México ya asumía compromisos vinculados al *desarrollo sostenible*, y fue a partir de 1992 durante la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, la Cumbre de la Tierra, celebrada en Río de Janeiro, Brasil, que se multiplicó una serie de eventos importantes a nivel nacional e internacional que colocan el tema como una prioridad en la agenda de muchos gobiernos federales: 1) se reconoce la interdependencia entre la protección del medio ambiente y el desarrollo económico y social; 2) el Comité Intergubernamental de Negociación (CIN) adopta el texto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), producto del primer informe del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (PICC); 3) la Convención se abre a la firma en la Cumbre de la Tierra, donde los líderes mundiales adoptaron el plan conocido como *Agenda 21*, que fue un programa ambicioso para establecer un *desarrollo sostenible* global, y 4) México es uno de los países que firman la CMNUCC, haciendo constar en el ámbito internacional su compromiso para cumplir los lineamientos establecidos en este instrumento (UNFCCC, 2007).

Dos años más tarde, la CMNUCC entra en vigor con objetivo de estabilizar las concentraciones de GEI en la atmósfera, fijando los niveles de estas emisiones para las Partes (o naciones) asociadas a la Comisión. México para cumplir con dicho objetivo y compromiso, publica el primer Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI), que más tarde se llamaría Inventario Nacional de Emisiones de Gases y

Compuestos de Efecto Invernadero (INEGCEI), cumpliendo con la tarea de “elaborar, actualizar periódicamente, publicar y facilitar a la Conferencia de las Partes, de conformidad con el Artículo 12, inventarios nacionales de las emisiones antropogénicas por las fuentes y de la absorción por los sumideros de todos los gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal, utilizando metodologías comparables que habrán de ser acordadas por la Conferencia de las Partes” (UNFCCC, 1992: 5-6).

Uno de los logros de la agenda internacional fue la ampliación de la CMNUCC, renombrada como Protocolo de Kioto, en el año de 1997 en Kioto, Japón, con la finalidad de alcanzar el objetivo último de la CMNUCC. El Protocolo, estableció una serie de mecanismos de mercado que relacionaban a los países más industrializados para fomentar políticas orientadas al *desarrollo sostenible*, lo cual facilitaría las prácticas necesarias para mitigar las emisiones de los países desarrollados por medio del Comercio de Derechos de Emisiones, la Implementación Conjunta y Mecanismos para un Desarrollo Limpio.

México ratificó este instrumento en el año 2000, en medio del primer fracaso de las Partes por mitigar sus emisiones, y por ser un país que no se encuentra en el Anexo I de países desarrollados, el país se absolvió de cumplir sus obligaciones cuantitativas de reducción de GEI. Ese mismo año, en México se crea la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático (CICC) mediante el decreto presidencial de Vicente Fox Quezada, organismo que en 2006 publicó “Hacia una Estrategia Nacional de Acción Climática (HENAC)”, instrumento que se convirtió en el rector de la política nacional en el mediano y largo plazos para enfrentar los efectos del cambio climático y transitar hacia una economía competitiva, sostenible y de bajas emisiones de carbono. Este comenzó a ser elaborado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), con la participación del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y la opinión del Consejo de Cambio Climático; aprobada por la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático y publicada en el Diario Oficial de la Federación de 2013.

Para el año 2007, en México se incluye por primera vez el tema de la *sostenibilidad* como uno de los ejes principales del Plan Nacional de Desarrollo (PND), con objetivos específicos ante el cambio climático. Además, se publica la Estrategia Nacional de Cambio Climático y se presenta la Tercera Comunicación Nacional ante la CMNUCC, junto con la

actualización del INEGI. Con esta inclusión del concepto en el PND, en 2009 se abren las puertas para la publicación del Programa Especial de Cambio Climático (PECC), el cual se da a conocer durante la Cuarta Comunicación Nacional ante la CMNUCC. A fin de atender la problemática que representaba implicaciones locales, federales e internacionales, fue fundamental el establecimiento del PECC en alineación con los objetivos de mitigación y adaptación del PND, pero al mismo tiempo era imprescindible la adopción de medidas de evaluación y monitoreo que dotaran de transparencia a dichas acciones, para generar confianza sobre los resultados, avances y mejoras que tuvieran que llevarse a cabo a nivel nacional. A través de este instrumento, el Gobierno Federal se dispuso a demostrar que es posible mitigar el *cambio climático* y adaptarse, sin comprometer el proceso de desarrollo, a los problemas derivados de este último fenómeno, incluyendo un apartado de los posibles beneficios económicos (PECC, 2009).

Derivado de la publicación del PECC, en noviembre de 2010 se propone a México para presidir la COP número 16, la cual fue llevada a cabo en Cancún, Quintana Roo. Durante la Conferencia, se implementó el Sistema de Información de la Agenda de Transversalidad (SIAT) como mecanismo de reporte y validación del cumplimiento de las metas del PECC. La COP 16 fue importante para asegurar que las Partes se comprometieran para enfrentar los efectos aún más evidentes del cambio climático. Durante este año se destacan varios puntos: 1) el reconocimiento de una meta común de mitigación; 2) se establece el Fondo Verde Climático como mecanismo financiero de la CMNUCC; 3) se establece el Comité de Adaptación y el Mecanismo Tecnológico para promover innovaciones tecnológicas amigables con el medio ambiente, el proceso de Acciones Nacionalmente Apropriadas de Mitigación (NAMAs) y la mejora continua de mecanismos de Medición, Reporte y Verificación (MRV).

El 8 de febrero de 2012, se publicaron las reformas y adiciones al artículo 4º constitucional, con ello el H. Congreso de la Unión incorporó las disposiciones relativas al derecho de los mexicanos de tener un ambiente sano y las responsabilidades por el daño y deterioro ambiental.⁴ Y en junio de ese mismo año se publica la Ley General de Cambio

⁴ Artículo segundo transitorio del Decreto por el que se declara reformado el párrafo quinto y se adiciona un párrafo sexto recorriéndose en su orden los subsecuentes, al artículo 4º de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (ibíd.).

Climático (LGCC), con el objetivo de garantizar un medio ambiente sano para los mexicanos, un desarrollo sostenible, así como la preservación y restauración del equilibrio ecológico. Una de las principales características de esta Ley es el establecimiento de un conjunto de objetivos que podrán orientar la estrategia de México en el buen desempeño hacia una economía baja en carbono.⁵

Un año antes de la aprobación de la Reforma Energética en México, se establece la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible, mejor conocida como Río+20. Debido a que los esfuerzos por mitigar el cambio climático no habían sido lo suficientemente eficaces y que se ha avanzado poco en las prácticas por reducir los GEI a nivel mundial, el motivo de esta conferencia fue reunir a los líderes mundiales, junto con miles de participantes del sector privado, organizaciones no gubernamentales (ONG's) y otros grupos, para dar respuestas a la manera en que se puede resolver los problemas referentes a la degradación ambiental y atmosférica, además que se tocaron los temas sobre la reducción de la pobreza, el fomento a la equidad social y la garantía a la protección del medio ambiente en un planeta cada vez más poblado y con menos recursos por habitante.

Luego de que se celebrara Río+20, México dio respuesta a los compromisos adquiridos con la Reforma Energética, la cual hizo referencia al cambio climático, a las cuestiones medioambientales y a la “naturalización de la economía”, llevando al país a la discusión en el tema de las energías renovables, el cuidado del medio ambiente y la responsabilidad del Estado de ser el órgano principal en orientar las políticas energéticas hacia el cumplimiento de un *desarrollo sostenible*. Por ello, en el siguiente apartado se explicará gran parte del marco institucional que fue derivado de esta reforma. Se presenta un breve resumen de todas aquellas instituciones (leyes, programas, herramientas, entre otras) que defienden, en cierto sentido, la responsabilidad de México ante el “cambio climático” y el progreso que ha sido necesario para la transición energética del país.

3.3 El marco institucional de la Reforma para la Transición Energética

⁵ Para mayor detalle, consulte esta Ley en el siguiente vínculo:
http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC_190118.pdf

Más allá de modificar los artículos 25, 27 y 28 constitucionales en materia del sector petrolero y los recursos no renovables contenidos en territorio nacional, la Reforma Energética representó una ola institucional que no sólo permitió la participación de la iniciativa privada nacional en el tema de los hidrocarburos, sino también involucró a inversionistas extranjeros, en el desarrollo de proyectos de exploración-explotación de hidrocarburos convencionales y en proyectos con potencial para el desarrollo y uso de energías limpias y renovables. Como resultado de las modificaciones en el marco legal, México se ha convertido en un importante destino de inversiones hacia proyectos de diferentes fuentes de energía renovable, lo cual ha sido favorable a los inversionistas por el aparato institucional que brinda el propio Gobierno Federal, detonando en el incremento en la generación de energía eléctrica con fuentes renovables y en la gestión de trámites para aumentar la oferta de energía eléctrica de manera limpia.

El marco constitucional que avala la disposición y el uso de fuentes de energía renovable ha garantizado que la política pública en materia de energía eléctrica se abra y gane terreno en el sentido de que ha sumado la participación de actores privados a una actividad que antes era exclusiva del Estado, quien asumió durante décadas un papel monopolístico en la generación de energía eléctrica. Posteriormente el primer paso fue permitir la generación de energías limpias, a través de acuerdos y contratos en los que se estimulaba la co-inversión gobierno-iniciativa privada, pero con modalidades en las que aquellas empresas que estuvieran interesadas en invertir en este sector tenían una intervención en las decisiones de manera restringida. Sin embargo, después de esta reforma, técnicamente se invierten los papeles, dando certeza jurídica y permitiendo una mayor participación a aquellas organizaciones privadas, nacionales y extranjeras, en la generación y competencia dentro del mercado local de energías renovables.

Uno de los objetivos más importantes que se plantean dentro de la Reforma Energética es reducir el consumo y dependencia de los recursos fósiles a través de la promoción y uso de las energías limpias, dentro de las cuales se encuentran las energías renovables.⁶

⁶ La Ley de la Industria Eléctrica (LIE) define a las energías limpias como “aquellas fuentes de energía y procesos de generación de electricidad cuyas emisiones o residuos, cuando los haya, no rebasen los umbrales establecidos en las disposiciones reglamentarias que para tal efecto se expidan”, y, por otra parte, la Ley de Transición Energética (LTE) define a las energías renovables como “aquellas cuya fuente reside en fenómenos

Además de las leyes secundarias, las energías renovables también son consideradas en la máxima institución dentro de la Legislación Mexicana, es decir, en la *Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos* (CPEUM), la cual contempla una serie de artículos relacionados con el uso e implementación de proyectos de energías renovables, y con el papel que juega el Estado como agente principal en el fomento de estas fuentes de energía, tal como se muestra en la tabla 3.3.1.

Tabla 3.3.1. Artículos Constitucionales en materia del Desarrollo Sostenible

Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos
Art. 4, 5º párrafo
<i>Toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar. El Estado garantizará el respeto a este derecho. El daño y deterioro ambiental generará responsabilidad para quien lo provoque en términos de lo dispuesto por la ley.</i>
Art. 25, 1º párrafo
<i>Corresponde al Estado la rectoría del desarrollo nacional para garantizar que éste sea integral y sustentable, que fortalezca la Soberanía de la Nación y su régimen democrático y que, mediante la competitividad, el fomento del crecimiento económico y el empleo y una más justa distribución del ingreso y la riqueza, permita el pleno ejercicio de la libertad y la dignidad de los individuos, grupos y clases sociales, cuya seguridad protege esta Constitución.</i>
Art. 26, inciso A
<i>El Estado organizará un sistema de planeación democrática del desarrollo nacional que imprima solidez, dinamismo, competitividad, permanencia y equidad al crecimiento de la economía para la independencia y la democratización política, social y cultural de la nación. [...] Habrá un plan nacional de desarrollo al que se sujetarán obligatoriamente los programas de la Administración Pública Federal.</i>
Art. 27, 6º párrafo
<i>Corresponde exclusivamente a la Nación la planeación y el control del sistema eléctrico nacional, así como el servicio público de transmisión y distribución de energía eléctrica; en estas actividades no se otorgarán concesiones, sin perjuicio de que el Estado pueda celebrar contratos con particulares en los términos que establezcan las leyes, mismas que determinarán la forma en que los particulares podrán participar en las demás actividades de la industria eléctrica.</i>

Fuente: Elaboración propia con base en la CPEUM, consultada el 12 de junio de 2018.

Por otro lado, se asegura la libre competencia en el mercado energético, lo cual está sustentado en el reformado Artículo 28 Constitucional, estableciendo lo siguiente:

No constituirán monopolios las funciones que el Estado ejerza de manera exclusiva en las siguientes áreas estratégicas: correos, telégrafos y radiotelegrafía; minerales radiactivos y generación de energía nuclear; la planeación y el control del sistema eléctrico nacional, así como el servicio público de transmisión y distribución de energía eléctrica, y la

de la naturaleza, procesos o materiales susceptibles de ser transformados en energía aprovechable por el ser humano, que se regeneran naturalmente, por lo que se encuentran disponibles de forma continua o periódica, y que al ser generadas no liberan emisiones contaminantes”.

exploración y extracción del petróleo y de los demás hidrocarburos, en los términos de los párrafos sexto y séptimo del artículo 27 de esta Constitución, respectivamente; así como las actividades que expresamente señalen las leyes que expida el Congreso de la Unión.

Asimismo, esta reforma vino acompañada por leyes secundarias para dar cumplimiento al mandato que se dicta en la Constitución, permitiendo la participación de la iniciativa privada en el suministro eléctrico nacional con el objetivo de una mayor promoción de energías renovables durante la transición de este sector. En la tabla 3.3.2 se encuentran desagregadas aquellas leyes que fueron reformadas (12) y aquellas que fueron expedidas (9), de las cuales sólo se describirán aquellas que ayudarán a contextualizar las instituciones que están enfocadas hacia la promoción y uso de energías renovables en México.

Tabla 3.3.2. Leyes secundarias derivadas de la Reforma Energética

Leyes reformadas	Leyes expedidas
• Ley Federal de Derechos. • Ley de Coordinación Fiscal. • Ley Federal de Presupuesto y Responsabilidad Hacendaria. • Ley General de Deuda Pública. • Ley de Aguas Nacionales. • Ley Orgánica de la Administración Pública Federal. • Ley de Inversión Extranjera. • Ley Minera. • Ley de Asociaciones Público Privadas. • Ley Federal de las Entidades Paraestatales. • Ley de Adquisiciones, Arrendamientos y Servicios del Sector Público. • Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas.	• Ley de Ingresos sobre Hidrocarburos. • Ley del Fondo Mexicano del Petróleo para la Estabilización y el Desarrollo. • Ley de la Industria Eléctrica. • Ley de Energía Geotérmica. • Ley de los Órganos Reguladores Coordinados en Materia Energética. • Ley de la Agencia Nacional de Seguridad Industrial y de Protección al Medio Ambiente del Sector Hidrocarburos. • Ley de Hidrocarburos. • Ley de Petróleos Mexicanos. • Ley de la Comisión Federal de Electricidad.

Fuente: Elaboración propia con base en el *Diario Oficial de la Federación* (DOF) 11/08/2014.

De las leyes anteriores, se dará una breve descripción de las que realmente sirven para explicar parte de la transición energética que interesa en esta investigación, además de otras disposiciones institucionales, como las políticas públicas, los programas y fondos nacionales y sectoriales, entre otros, que llevó a cabo el Estado para la promoción del *desarrollo sostenible* a partir del uso de energías más accesibles y limpias.

A continuación, se describirá en forma resumida cada una de las leyes que fueron consideradas para contextualizar el campo institucional necesario para relizar proyectos de energía renovable en territorio nacional.

3.3.1 Ley Orgánica de la Administración Pública Federal.⁷ De acuerdo con esta Ley, corresponde a la Secretaría de Energía (SENER), entre otras cosas, establecer, conducir y coordinar la política energética nacional. Asimismo, se le atribuye a la SENER la planeación energética a mediano y largo plazo, actividad que deberá considerar los criterios de la soberanía y la seguridad energética, la diversificación de las fuentes de combustibles, la reducción progresiva de impactos ambientales de la producción y consumo de energía, la mayor participación de las energías renovables en el balance energético nacional, el ahorro de energía y la mayor eficiencia de su producción y uso, el apoyo a la investigación y el desarrollo tecnológico nacionales en materia energética, entre otros.

3.3.2 Ley de Órganos Reguladores Coordinados en Materia Energética.⁸ Esta Ley establece las bases para la organización y funcionamiento de los dos Órganos Reguladores Coordinados: la Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH) y la Comisión Reguladora de Energía (CRE). A través de estas dos organizaciones, el Estado podrá ejercer sus funciones de regulación técnica y económica en materia de electricidad e hidrocarburos, con el propósito de hacer al sector energético aún más competitivo y eficiente.

3.3.3 Ley General de Cambio Climático.⁹ En su artículo Segundo Transitorio, respecto a las emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero, México aspira a reducir un 30 por ciento de emisiones respecto a la línea base para el año 2020, y un 50 por ciento para el año 2050 respecto a las emitidas en el año 2000. Por otro lado, en su artículo Tercero Transitorio, segundo apartado, inciso e, se establece que la SENER, en coordinación con la

⁷ Para mayor detalle, puede consultarse esta Ley en el siguiente vínculo:
<http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/loapf.htm>

⁸ Para mayor detalle, puede consultarse esta Ley en el siguiente vínculo:
http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LORCME_110814.pdf

⁹ Para mayor detalle, puede consultarse esta Ley en el siguiente vínculo:
http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC_190118.pdf

CFE y la CRE, promoverán que –cuando menos– el 35% de la generación eléctrica nacional provenga de fuentes de energía limpia para el año 2024.

3.3.4 Ley de la Industria Eléctrica (LIE).¹⁰ Esta Ley surgió del fortalecimiento al proceso de la planeación del Sistema Eléctrico Nacional (SEN), fue decretada el 11 de agosto de 2014 como una Ley reglamentaria de la CPEUM. Con ella se establece un régimen de libre competencia para la generación y comercialización de energía eléctrica, además de otorgar a particulares la participación en la transmisión y distribución de energía eléctrica en el servicio público, esto bajo modelos contractuales considerando que estas actividades se mantienen como exclusivas del Estado.

Esta es una de las Leyes más importantes, pues entre sus objetivos se considera la promoción del *desarrollo sostenible* de la industria eléctrica y la garantía de operar este sector de forma continua, eficiente y segura en beneficio de los usuarios, así como establecer el cumplimiento de las obligaciones del servicio público, del uso de energías renovables y de la reducción de emisiones contaminantes.

La tabla 3.3.4.1 resume las principales disposiciones y facultades que otorga esta Ley a las distintas organizaciones involucradas en la promoción de energías limpias, así como la Planeación y Control del SEN y de distintas actividades relacionadas.

Tabla 3.3.4.1. Disposiciones y facultades que otorga la LIE

De las autoridades		
La SENER está facultada, entre otras actividades, para: - Establecer, conducir y coordinar la política energética del país en materia de energía eléctrica. - Preparar y coordinar la ejecución de los proyectos estratégicos de infraestructura necesarios para cumplir con la política energética nacional. - Fomentar el otorgamiento de créditos y otros esquemas para el financiamiento de Centrales Eléctricas de Generación Limpia	La CRE está facultada, entre otras actividades, para: - Expedir modelos de contrato de interconexión de Centrales Eléctricas, conexión de Centros de Carga, compra-venta por los Generadores Exentos, compra-venta por los Usuarios de Suministro Básico con Demanda Controlable y los demás que se requieran. - Otorgar los Certificados de Energías Limpias. - Fomentar la capacitación de empresas y su personal, así como	Por decisión del Estado, el CENACE , entre otras disposiciones, será el regulador del Sistema Eléctrico Nacional, así como del Mercado Eléctrico Mayorista, y coordinará e instruirá las acciones de los Transportistas y Distribuidores responsables de la Red Nacional de Transmisión y las Redes Generales de Distribución. El CENACE podrá formar asociaciones o celebrar contratos con particulares para que presten servicios auxiliares a la operación

¹⁰ Para mayor detalle, puede consultarse esta Ley en el siguiente vínculo:
<http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lielec.htm>

Distribuida.	profesionales y técnicos independientes, para la instalación de Centrales Eléctricas de Generación Limpia Distribuida.	del Mercado Eléctrico Mayorista.
De la Planeación y Control del SEN		
La SENER estará a cargo, entre otras cosas, de: - Desarrollar programas indicativos para la instalación y retiro de las Centrales Eléctricas, con apego al Programa de Desarrollo del SEN. - La ampliación y modernización de la Red Nacional de Transmisión y de las Redes Generales de Distribución.		El Estado ejercerá el Control Operativo del Sistema Eléctrico Nacional a través del CENACE, quien determinará los elementos de la Red Nacional de Transmisión y las Redes Generales de Distribución y las operaciones de los mismos que correspondan al Mercado Eléctrico Mayorista.
De las distintas Actividades del SEN		
De la Generación de Energía Eléctrica	De la Transmisión y Distribución	De la Comercialización
Las Centrales Eléctricas con capacidad mayor o igual a 0.5 MW y las Centrales Eléctricas de cualquier tamaño representadas por un Generador en el Mercado Eléctrico Mayorista requieren permiso otorgado por la CRE para generar energía eléctrica en el territorio nacional. Se requiere autorización otorgada por la CRE para importar energía eléctrica proveniente de una Central Eléctrica ubicada en el extranjero y conectada exclusivamente al Sistema Eléctrico Nacional. Las Centrales Eléctricas de cualquier capacidad que sean destinadas exclusivamente al uso propio en emergencias o interrupciones en el Suministro Eléctrico no requieren permiso.	Los Transportistas y los Distribuidores son responsables de la Red Nacional de Transmisión y las Redes Generales de Distribución y operarán sus redes conforme a las instrucciones del CENACE. Para el mantenimiento de la Red Nacional de Transmisión y de los elementos de las Redes Generales de Distribución que correspondan al Mercado Eléctrico Mayorista, los Transportistas y los Distribuidores se sujetarán a la coordinación y a las instrucciones del CENACE.	La Comercialización comprende: Prestar el Suministro Eléctrico a los Usuarios Finales; Representar a los Generadores Exentos en el Mercado Eléctrico Mayorista; Adquirir los servicios de transmisión y distribución con base en las Tarifas Reguladas; Adquirir y enajenar los Servicios Conexos no incluidos en el Mercado Eléctrico, con la intermediación del CENACE, entre otras actividades.

Fuente: Elaboración propia con base en la LIE.

3.3.5 Ley de Transición Energética (LTE).¹¹ Esta Ley fue publicada el 24 de diciembre de 2015 en el DOF, tiene como objetivo regular el aprovechamiento sostenible de la energía y las obligaciones en materia de Energías Limpias y de reducción de emisiones contaminantes de la Industria Eléctrica, manteniendo la competitividad de los sectores productivos.

¹¹ Para mayor detalle, puede consultarse esta Ley en el siguiente vínculo:
http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5421295&fecha=24/12/2015

Con apego a esta Ley, la Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios, el Programa Especial de la Transición Energética y el Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de Energía (PRONASE) se definieron como los instrumentos de planeación para llevar a cabo la política nacional de energía en materia de Energías Limpias y Eficiencia Energética. Asimismo, para las mejores prácticas, la SENER, la CRE, el CENACE y la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) están a cargo de la revisión anual de las actividades dentro de esta Ley.

Esta Ley adjudica a la Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios el establecimiento de metas y la Hoja de Ruta¹² para la implementación de las mismas, así como el fomento a la reducción de emisiones contaminantes originadas por la Industria Eléctrica y la reducción, bajo criterios de viabilidad económica, de la dependencia del país de los combustibles fósiles como fuente primaria de energía. Esta estrategia establecerá las políticas y las acciones que deberán ser ejecutadas mediante el Programa Especial de la Transición Energética y los programas anuales que de él deriven para cumplir los objetivos de la misma.

Además de la legislación, también se llevó a cabo la implementación de Políticas Públicas Energéticas para lograr esta transición, la cual requería un paquete de acciones, estrategias, programas, lineamientos y normas que permitieran dar el paso al sector energético en su uso de tecnologías más limpias, energéticamente eficientes y que promovieran la productividad, el *desarrollo sostenible* y la equidad social en el país.

3.3.6 Estrategia Nacional de Cambio Climático.¹³ Esta institución es un instrumento de planeación que establece una visión de largo plazo, en la que se plantea que el país crecerá de manera sostenible y promoverá el manejo sustentable y equitativo de sus recursos naturales, así como el uso de energías limpias y renovables que le permitan un desarrollo con bajas emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero. Entre otras cosas, propone una

¹² Guía que establece la secuencia de pasos para alcanzar un objetivo, en la que se especifican participantes, tiempo y recursos necesarios (ibíd.).

¹³ Para mayor detalle, puede consultarse esta Estrategia en el siguiente vínculo: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5301093&fecha=03/06/2013

nación socialmente equitativa, con una economía verde, con ecosistemas y poblaciones resilientes al cambio climático y con ciudades sustentables.

3.3.7 Estrategia de Transición para promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios.¹⁴ Esta Estrategia fue publicada el 19 de diciembre de 2014, comparte objetivos con la Ley General de Cambio Climático y con la Ley de Transición Energética, es el instrumento guía de la política nacional en el mediano y largo plazo en materia de obligaciones de Energías Limpias, aprovechamiento sustentable de la energía y mejora en la productividad energética de reducción económicamente viable de emisiones contaminantes de la Industria Eléctrica.

3.3.8 Guía de Programas de fomento de Energías Renovables.¹⁵ Los objetivos de esta Guía son explicar de manera sencilla las ventajas de la sustitución de la generación de energía producida por medios convencionales, por energía basada en recursos renovables; las oportunidades de explotación de los recursos renovables de acuerdo a su disponibilidad local y regional; la tecnología disponible, y, principalmente, informar sobre los instrumentos financieros que existen en México y los provenientes de Organizaciones Internacionales. Por otro lado, también promueve la distribución de tecnologías limpias para la generación de electricidad en las comunidades más remotas y marginadas de México.

En esta Guía puede consultarse el marco institucional para la promoción de las mismas, a través de sus cinco programas que se mueven en conjunto con el PND: 1) Programa Sectorial de Energía 2013-2018; 2) Programa Sectorial de Medio Ambiente 2013-2018; 3) Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018; 4) Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables 2013-2018, y 5) Programa Nacional de Financiamiento del Desarrollo 2013-2018.

¹⁴ Para mayor detalle, puede consultarse esta Estrategia en el siguiente vínculo:
<https://www.gob.mx/conuee/acciones-y-programas/estrategia-de-transicion-para-promover-el-uso-de-tecnologias-y-combustibles-mas-limpios-2016>

¹⁵ Para mayor detalle, puede consultarse esta Guía en el siguiente vínculo:
<https://www.gob.mx/publicaciones/articulos/guia-de-programas-de-fomento-a-la-generacion-de-energia-con-recursos-renovables-142904?idiom=es>

Asimismo, en materia de financiamiento a proyectos de energía renovable, se encuentran cuatro incentivos de fomento a la producción de energía con recursos renovables, como son: 1) Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (FTEASE); 2) Fondo de Sustentabilidad Energética; 3) Fondo Mexicano del Petróleo para la Estabilización y el Desarrollo, y 4) Fondo para el Cambio Climático.

En México también se cuenta con el apoyo de tres Centros Mexicanos de Innovación en Energía (CEMIE) derivados del Fondo de Sustentabilidad Energética, los cuales fueron creados para abatir las barreras y retos científicos y tecnológicos que enfrenta el país para el aprovechamiento sostenible de la energía. Estos Centros están integrados como redes de formación de capacidades y recursos humanos, de vinculación y expansión del tejido científico-tecnológico-empresarial, entre ellos se encuentra el Centro Mexicano de Innovación en Energía Solar (CEMIE-SOL), fundado en marzo de 2014, como un centro virtual, o consorcio, donde se agrupa a organizaciones, en especial academias y empresas, de todo el país para generar sinergias a favor del aprovechamiento de la energía solar. Este Centro es coordinado por el Instituto de Energías Renovables (IER-UNAM) y agrupa a 47 instituciones de investigación y/o educación superior y 10 empresas.¹⁶

Además de lo anterior, se requirió de un conjunto de instrumentos de política nacional en materia de obligaciones de energías renovables, tanto en el mediano como en el largo plazo como lo dicta la LTE. Por ello, existen instrumentos para la toma de decisiones en nuevas inversiones que también ayudan en la promoción de estas fuentes de energía, las cuales son las siguientes.

3.3.9 Subastas Eléctricas y Emisión de Certificados de Energías Limpias (CEL).¹⁷

Estas instituciones surgieron como un mecanismo para expandir la infraestructura energética y satisfacer, en buena medida, el abasto de electricidad proveniente de fuentes de energía limpia. Por una parte, uno de los objetivos principales de las Subastas es que aquellas

¹⁶ Para más información relacionada con este Centro, puede consultarse en el siguiente vínculo:
<http://www.cemiesol.mx/home/>

¹⁷ Para mayor información referente a estas instituciones, pueden consultarse en los siguientes vínculos.
 Subastas: <http://www.cenace.gob.mx/paginas/publicas/mercadooperacion/subastas.aspx>
 Certificados: <https://www.gob.mx/cre/acciones-y-programas/certificados-de-energias-limpas-51673>

organizaciones que son consideradas grandes consumidoras de energía podrán obtener electricidad de una oferta cada vez mayor de prestadores del servicio eléctrico, sin la necesidad de intermediarios, fomentando la competencia del mercado energético y aumentando la posibilidad de adquirir mejores precios.

Por su parte, los CEL se consideran un instrumento de la política energética que, más que un complemento de las Subastas, fue implementado para integrar a las energías limpias en la generación eléctrica nacional, tratando de alcanzar los menores costos, incentivando el crecimiento en la inversión, tanto nacional como extranjera, para la generación limpia y contribuir en la celebración de contratos de largo plazo entre los oferentes y los demandantes que son acreedores de estos CEL en los mejores términos posibles.

3.3.10 Inventario Nacional de las Energías Limpias (INEL).¹⁸ Actualmente continúa llamándose Inventario Nacional de Energías Renovables (INERE), pero próximamente será llamado INEL de acuerdo con la LTE. Este Inventario está a cargo de la Secretaría de Energía de acuerdo a la Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética, y es considerado como una herramienta tecnológica muy importante donde se puede encontrar información sobre el potencial que tienen las energías limpias, tales como la eólica, la geotérmica, la hidráulica, la solar, entre otras, que pueden ser aprovechadas para la producción de electricidad.

El INEL, a partir de mapas interactivos, permite identificar el potencial existente de generación eléctrica de energía por medio de las diferentes fuentes, las zonas en las que es factible desarrollar los nuevos proyectos, incluyendo aquellos que ya están en desarrollo y en espera de funcionamiento. Además, puede ser consultado todo el inventario de empresas que están en competencia dentro de este subsector energético y descargar la información de las centrales generadoras que actualmente se encuentran en funcionamiento.

¹⁸ Aunque en el sitio continúa llamándose INERE, puede consultarse la información que se menciona en esta investigación en el siguiente vínculo: <https://dgel.energia.gob.mx/inere/>

3.3.11 Atlas de Zonas con Alto Potencial de Energías Limpias (AZEL).¹⁹ La LTE estableció la publicación anual de un Atlas Nacional de Zonas con Alto Potencial de Energías Limpias que describe las zonas del país donde es conveniente el establecimiento de potenciales proyectos de energía renovable para la producción de electricidad.

El AZEL es, de hecho, una herramienta complementaria del INERE, la cual es una plataforma que considera factores técnicos como disponibilidad del recurso renovable, altitud, latitud y tipo de tecnología a usar. El resultado obtenido incluye mapas que contienen el área disponible (expresada en kilómetros cuadrados), la capacidad instalable (expresada en megawatts), el potencial de generación eléctrica (expresado en gigawatts-hora-año) y la cantidad de emisiones evitables de CO₂e (expresadas en mega-toneladas-año).

Esta evaluación, además de servir como herramienta para el desarrollo de políticas públicas para impulsar energías limpias y para planear el desarrollo de la nueva infraestructura de la Red Nacional de Transmisión, busca facilitar al inversionista la identificación de zonas o sitios con alto potencial para el desarrollo de proyectos de generación eléctrica a partir de tecnologías limpias, sin embargo, el análisis e información relacionada no considera limitaciones económicas o de mercado, por lo que no sustituye la evaluación de factibilidad que deben llevar a cabo los inversionistas para determinar la rentabilidad financiera y económica de sus proyectos en polígonos de extensión concretos.

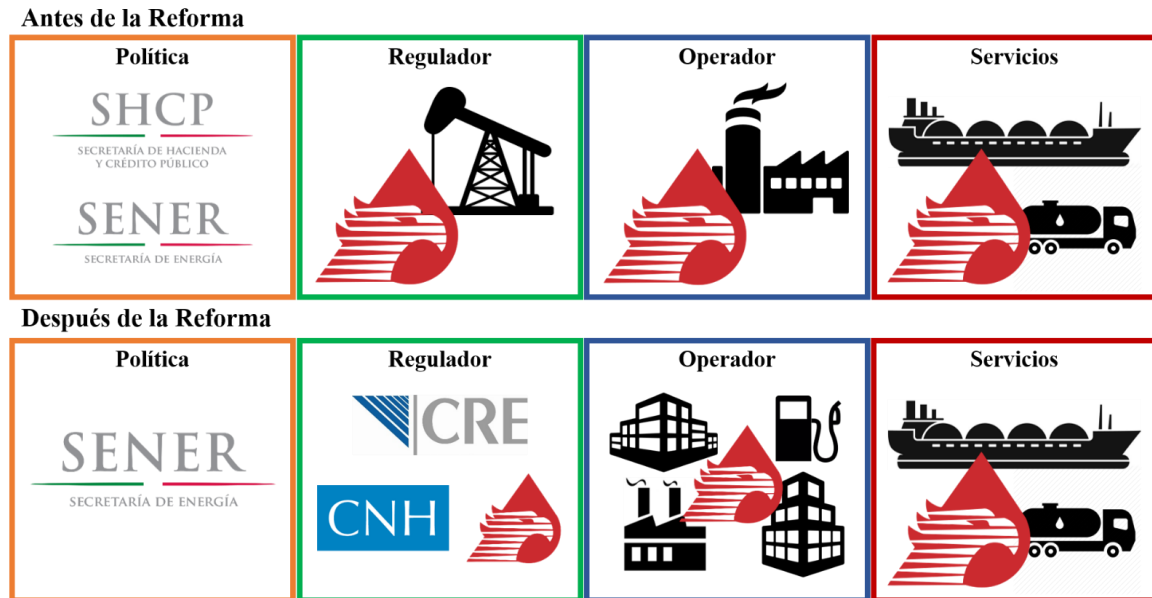
Con todo lo que se describió anteriormente, se puede observar la ola institucional que llegó con la Reforma Energética, sólo cabe destacar cuáles han sido los avances de México en la materia, en específico, cuál ha sido el desempeño de esta nación en el tema de la energía solar gracias a su aparato institucional. Es por ello que, en el siguiente apartado, se presentará brevemente la evolución de los dos grandes pilares del sector energético: hidrocarburos y eléctrico.

3.4. El subsector petrolero antes y después de la Reforma

¹⁹ Para más información sobre el AZEL, puede consultarse en el siguiente vínculo: <https://dgel.energia.gob.mx/AZEL/>

Dada la estructura institucional que se presentó en la sección anterior, a continuación, se puede desagregar en forma resumida cómo ha sido esta evolución:

Figura 3.4.1. Evolución del subsector hidrocarburos



Fuente: Elaboración propia con base en las leyes secundarias de la Reforma Energética.

Como puede apreciarse en el esquema anterior, antes de que se llevara a cabo la Reforma en 2013, la política energética en el país era planeada y llevada a cabo entre la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) y la Secretaría de Energía (SENER), asumiendo parte de esta participación Petróleos Mexicanos (PEMEX), la organización central que aún en la actualidad se encarga del subsector hidrocarburos, y que sigue presentando fuertes y muy estrictos regímenes fiscales. No obstante, pese a que PEMEX también contaba con una somera intervención en la elaboración de la política energética del país, no existía un límite muy claro entre los creadores de las mismas, los reguladores y las actividades productivas de esta –en ese entonces– paraestatal; sólo se apreciaba que PEMEX alineaba las necesidades y metas de producción de acuerdo a los esquemas planteados por la SHCP, además de que era la organización que se regía por ser un operador con los esquemas de monopolio y al mismo tiempo de monopsonio en todos los productos y servicios de este subsector.

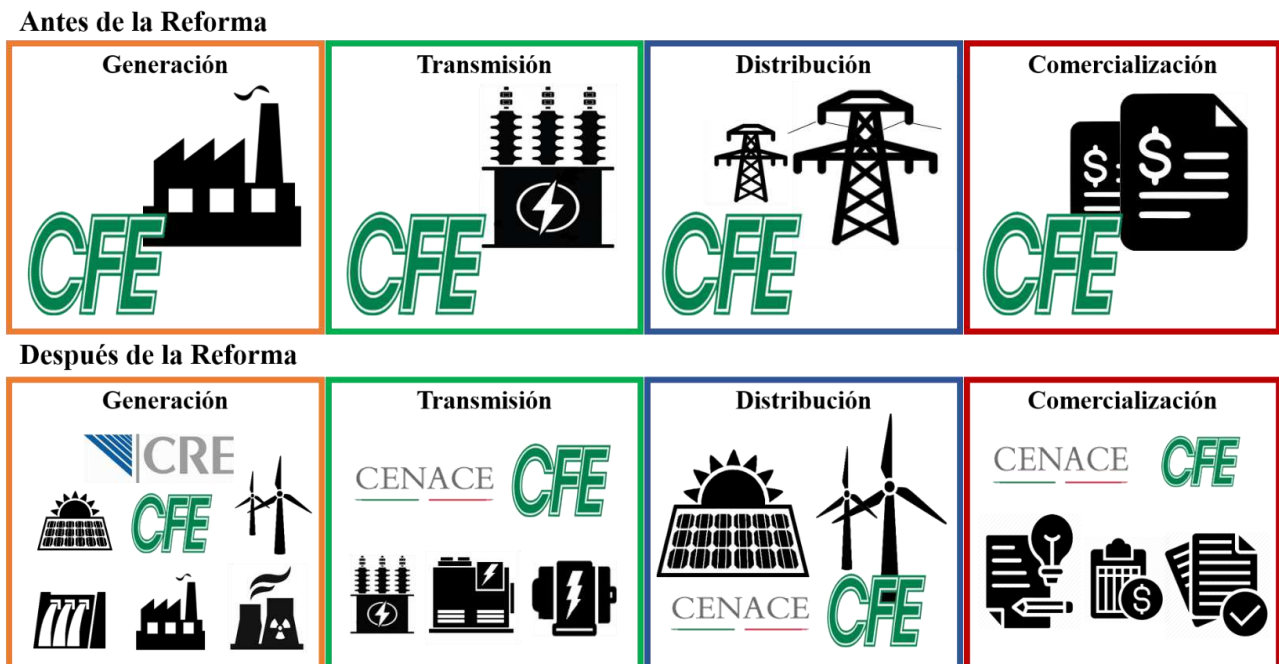
Con la llegada de la Reforma, como bien se sostiene en los documentos analizados de esta institución, en especial de sus leyes secundarias, el sector da apertura a la colaboración con otras organizaciones e inversionistas privados y extranjeros. En primera instancia, cabe destacar que la SHCP deja de ser uno de los pilares en la formulación de la política energética del país, pasando a ser la SENER la única creadora de ésta, además de que comienzan a tener una mayor presencia y a ganar poder en las decisiones de este subsector las agencias reguladoras para iniciar un nuevo proceso de formación de este mismo, que en este caso serían la Comisión Reguladora de Energía (CRE) y la Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH).

Por otro lado, PEMEX dejará de operar de manera aislada, ya que ahora se busca una mayor participación de organizaciones extranjeras o de la iniciativa privada para realizar trabajos de exploración y explotación de hidrocarburos, así como extraer, almacenar, transportar, distribuir y comercializar combustibles gracias a las rondas de licitación y/o alianzas público privadas que otorgan las nuevas disposiciones y facultades que concede esta Reforma, en específico de la Ley de Hidrocarburos en sus artículos 13, 14 y 15, y en general por la Ley de Petróleos Mexicanos, lo cual también supondrá que PEMEX dejará de ser el monopolio y monopsonio del Estado en algunos de los productos y servicios que se encuentran en este subsector. Por ejemplo, continuará ofertando derivados del petróleo, como gasolinas, aceites, lubricantes, entre otros (más del 90% del suministro nacional, de acuerdo con la SENER) a empresas particulares y extranjeras, quienes podrán revenderlos en el mismo territorio o exportarlos hacia sus territorios de origen; aunque algunas de estas también gozan de permisos para importar sus propios combustibles y derivados para su venta en el mercado mexicano. Aquellas empresas que no gocen de estos permisos de importación (Total, Hidrosina, Repsol, por mencionar algunas) ofertarán productos, en cuyo caso gasolinas, que vengan directamente de PEMEX. Y en cuanto al régimen fiscal de esta organización, aún se encuentra en proceso de transformación hacia un régimen que le dé una autonomía suficiente para generar mayor rentabilidad, con menos penalizaciones y menos gravámenes en su esquema fiscal.

3.5. El subsector eléctrico antes y después de la Reforma

Este subsector, desde la perspectiva institucional, también sufrió cambios muy notorios en el suministro eléctrico a nivel nacional. De manera similar al subsector anterior (hidrocarburos), y como se muestra en el siguiente esquema (3.5.1), previo a la Reforma, correspondía exclusivamente al Estado coordinar la generación, transmisión, distribución y abastecimiento de energía eléctrica a través de la Comisión Federal de Electricidad (CFE). Empresas privadas participaban dentro del sector eléctrico nacional (SEN) de manera limitada y con esquemas muy rigurosos, ya que el Estado controlaba todas las operaciones dentro de éste. Cabe destacar que al igual que en el subsector hidrocarburos, tanto la política como los límites existentes entre los creadores de ésta, los reguladores y la CFE no eran claros, además que esta última institución también se alineaba a las necesidades y metas establecidas por la SHCP.

Figura 3.5.1. Evolución del subsector eléctrico



Fuente: Elaboración propia con base en las leyes secundarias de la Reforma Energética.

Una vez que entra en vigor la Reforma, se generó el cambio tanto en la generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía, ya que ahora no sólo la CFE estará involucrada en toda la cadena productiva del subsector eléctrico, sino que tanto la CRE como el CENACE decidirán las formas en que se realizan las operaciones y transacciones dentro del SEN.

No obstante, por otro lado, no sólo fue importante destacar que también el panorama eléctrico se orientó hacia la competencia y participación de empresas privadas, nacionales y extranjeras, sino que ahora se oferta la generación de energía eléctrica por medio de fuentes de energía limpia, tal como se mencionó en la descripción de la LIE. Los esquemas de transmisión de energía ya no sólo se dan a través de transformadores otorgados por la CFE en vías públicas, sino que se da también la introducción de conversores y generadores de energía otorgados por particulares que complementan diferentes tipos de tecnología (solar y eólica, principalmente. Véase anexo II al final de este trabajo). Estas innovaciones, de hecho, se fueron adaptando a escala tanto industrial como doméstica (hogares y pymes, principalmente). Asimismo, esta introducción tecnológica viene acompañada por la adopción de paneles solares, torres eólicas, dispositivos térmicos, hidroeléctricas en pequeña escala, entre otras disposiciones que resultaron en una nueva forma de distribución energética, específicamente para zonas aledañas al SEN y/o para comunidades marginadas y con carencia de estos servicios públicos, así como nuevas formas de comercialización de la energía (legislación relativamente flexible, CEL's, permisos para auto-consumo, entre otras instituciones).

Lo anterior sólo fue un breve bosquejo de cómo cambió el sector energético a grandes rasgos, no obstante, y aterrizando hacia lo particular, en el siguiente capítulo se describirá cómo el subsector de la energía solar pudo colocarse y, en cierto sentido, desarrollarse dentro del mercado eléctrico nacional.

Capítulo IV. La energía solar en México

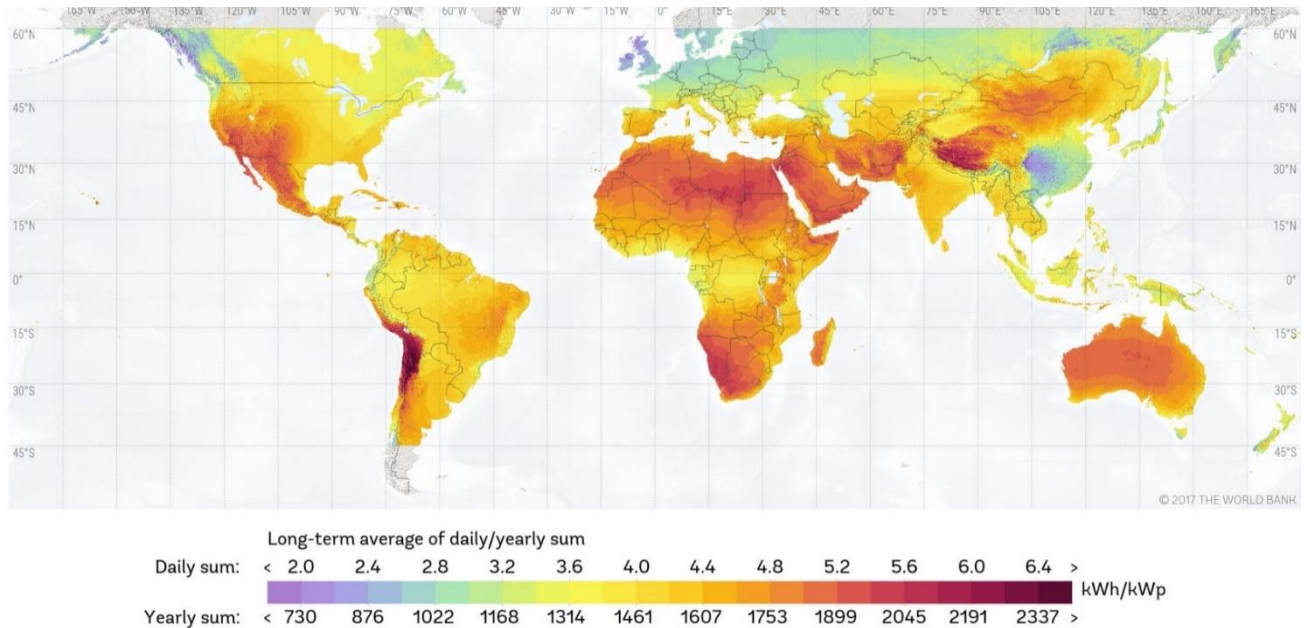
4.1 Introducción

A nivel internacional, el uso y aprovechamiento de las fuentes de energía renovable ha crecido de manera importante comenzando el siglo XXI. Como se observó en la introducción del capítulo anterior, la volatilidad de los precios de los combustibles fósiles, sumado a la lucha por el cambio climático y la búsqueda de nuevas oportunidades de negocio tras la acelerada escasez de las reservas convencionales de petróleo, son sólo algunos de los factores que han llevado este crecimiento en su importancia y atención. De hecho, de acuerdo con las estadísticas del British Petroleum (BP), siguiendo la definición de energías limpias que se presentó en el capítulo anterior, a nivel mundial la capacidad instalada de generación de electricidad por medio de estas fuentes fue de 8,847 TWh en 2017, creciendo a una tasa promedio del 4.2 por ciento desde el año de 1965. Por su parte, las inversiones destinadas para este sector, en las que las organizaciones de capital de riesgo (o venture capital) y el sector privado tienen una mayor participación, registraron en 2015 el valor más alto en la historia, con un saldo de 323.4 billones de dólares, declinando en 2016 a 274 billones, y nuevamente teniendo un incremento del 2% para 2017, con un saldo de 279.8 billones de dólares (UNEP Centre, BNEF, 2018).

En este contexto, la energía solar ha jugado un papel importante y creciente dentro del grupo de las energías renovables, ya que su capacidad instalada es la tercera más importante en el mundo, produciendo poco más de 442 TWh de electricidad durante el año 2017, muy por debajo de la hidroeléctrica y la eólica (4,060 TWh y 1,123 TWh, respectivamente), que llevan más años de desarrollo y con un crecimiento constante desde 1985. Pese a esto, se ha estimado que con un solo día de luz solar se podría cubrir la demanda energética mundial actual por más de 20 años (GENI, 2011), por lo que cada vez existen más empresas que dedican sus esfuerzos en aprovechar los recursos solares logrando captar el 57% de la inversión total en energías renovables (ibíd.), superando al resto de las fuentes en este tema. Esto se debe, por una parte, a la enorme cantidad de energía radiante que reciben algunas zonas estratégicas del planeta, como se puede observar en la figura 4.1.1, lo que ha representado oportunidades de negocio para la venta de electricidad a partir de estos recursos. Por otra parte, esta gran concentración de inversión

dentro de este subsector también puede ser explicada porque es una de las fuentes de energía que conllevan un fuerte desembolso de capital inicial para que se establezcan formalmente los proyectos, tal como se verá más adelante cuando se realice la comparación de las fuentes de energía tanto convencionales como alternativas.

Figura 4.1.1. Mundo: Potencial de energía solar promedio



Fuente: The World Bank, con datos de SOLARGIS.

Por su parte, América Latina y el Caribe es una zona geográfica privilegiada, pues recibe en promedio de 4 a 5 kWh al día de energía solar radiante. De esta zona, los países más beneficiados son Chile y México, con un promedio entre los 5 y 6.4 kWh diarios por cada metro cuadrado de superficie. No obstante, es México quien ha atraído más inversiones, escalando a la posición número 9 de las 10 economías con mayores flujos de inversión en energías renovables, empatando incluso a Brasil con un saldo de 6 billones de dólares. Adicionalmente México tuvo el mayor incremento de inversión respecto al año 2016, llegando a una tasa del 810% de crecimiento para el año 2017 (UNEP Centre, BNEF, op. cit.).

Desde luego, el que nuestro planeta cuente con importantes fuentes de energía (recursos hídricos, geotermia, vientos, sol, etcétera) no significa que en todos los lugares puedan llevarse a cabo proyectos para la generación de electricidad, ya que se presentan

ciertas condiciones tanto climáticas (granizadas, constante actividad volcánica y sísmica, tormentas eléctricas, incidencia de huracanes, entre otros) como ambientales (en general las áreas naturales de conservación y los patrimonios de la naturaleza protegidos a nivel federal), con las que a veces resulta imposible llevar a cabo la infraestructura necesaria para generar energía con recursos naturales renovables. A lo anterior se suman también los riesgos tanto sociales como ambientales que traen consigo algunas obras públicas (nucleares, hidroeléctricas y eólicas principalmente) y los altos costos de llevar la energía eléctrica para sostener las necesidades y las actividades económicas tradicionales. Por los datos anteriores, es importante no sólo mencionar el avance específico que ha tenido México en la promoción de energías renovables y su gran potencial de estos recursos, sino que es menester desagregar la parte de la energía solar y la capacidad tanto institucional como del desarrollo sostenible que tiene este territorio, tal como se verá a continuación.

4.2 Antecedentes de la industria solar

El aprovechamiento solar para la generación de energía eléctrica fue adoptado debido al ya mencionado panorama inestable en el precio del petróleo a inicios de la década de los años cincuenta y mediados de los años sesenta, período en el que se funda la Sociedad Internacional de Energía Solar (ISES, por sus siglas en inglés), precisamente en 1954,²⁰ siguiendo con la conferencia mundial de las Naciones Unidas sobre las próximas fuentes de energía en 1961, que serían una alternativa a la alta dependencia de las fuentes convencionales y de otros sucesos que cambiarían la historia del sector energético permanentemente.

Además, previo a que se fundara la ISES, los colectores solares en México ya se habían establecido en la década de los años cuarenta, en paralelo con las celdas solares que se estaban llevando a cabo en Estados Unidos para los primeros satélites de observación planetaria. Los prototipos mexicanos comenzaron con el ingenio del Sr. César Orozco Carricarte, a quien le concedieron la patente del colector solar y que más tarde inspiraría algunos de los primeros diseños que en la actualidad aún continúan funcionando en la ciudad de Guadalajara. De forma paralela, nació una empresa mexicana pionera en el uso y

²⁰ Para mayor información sobre esta Sociedad, puede consultarse en el siguiente vínculo: <https://www.ises.org/>

experimentación con energías renovables, “Instalaciones Técnicas Especializadas”, la cual fue fundada en enero de 1957 por el ingeniero Enrique Ramoneda Carrillo, egresado de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME), donde iniciaron investigaciones y trabajos con prototipos de calentadores solares, colocando sus primeras instalaciones comerciales a principios de la década de los setenta (Rincón y Aranda, 2006).

Derivado de esto, el Dr. Arturo Morales Acevedo, actual investigador 3D del Centro de Investigación y Estudios Avanzados (CINVESTAV), menciona que los avances en investigación sobre la energía solar en México comenzaron a hacerse notorios después de que se fundó el CINVESTAV en 1962, ya que con la apertura del Departamento de Ingeniería Eléctrica y el área de Electrónica del Estado Sólido, iniciaron formalmente los estudios sobre dispositivos basados en semiconductores, acompañados del estudio de las primeras celdas solares en estas instalaciones (ibíd.).

Años después de estas investigaciones, en 1967 se instala la primera casa ecológica de México en el municipio de San Vicente Chimalhuacán, Estado de México. Proyecto pionero realizado por los hermanos José y Jesús Arias Chávez, quienes encontraron el apoyo del IPN y la Universidad Autónoma de Chapingo, entre otras organizaciones, para la instalación del primer calentador de agua solar y donde se inició uno de los primeros experimentos públicos con paneles fotovoltaicos.²¹ Esta casa tuvo como objetivo principal impartir cursos sobre ecotecnias, lo cual se hizo durante 20 años, terminando en 1988 debido a una manifestación que surgió en el territorio nacional en contra de los recursos nucleares y de Laguna Verde, la central nuclear en Veracruz (Rincón y Aranda, op. cit.).

Continuando en la década de los setenta, el Dr. José Luis Fernández Zayas, quien ha tenido una larga trayectoria e importante presencia dentro del sector energético, menciona que el CONACYT decidió abrir nuevas líneas de investigación debido a que se empezó a comunicar que México era un país con altas capacidades y privilegios para desarrollar la tecnología solar y contribuir a la generación de electricidad, y fue por ello que el presidente Luis Echeverría tomó todas las iniciativas y proyectos que estaban en espera de ser desarrollados y fomentó el apoyo a este subsector energético. Entonces, el Dr. Fernández,

²¹ Para mayor información sobre este proyecto, puede consultarse en el siguiente vínculo:
<http://www.xochicalli.org.mx/>

en conjunto con otros investigadores, decidió echar mano a estos nuevos proyectos y temas que eran ya de interés para la comunidad científica del país (ibíd.).

Entre las universidades que aprovecharon los estímulos se encuentra principalmente la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), donde se iniciaron en 1972 los estudios para el aprovechamiento de la energía solar en el Centro de Investigaciones en Materiales, creando así uno de los grupos de investigación más importantes del país. Dentro de este Centro, se formó el Dr. Isaac Pilatowsky Figueroa, quien organizó el primer grupo de trabajo que no sólo aprovecharon el financiamiento del CONACYT, sino que además atrajeron inversión por parte de organizaciones estadounidenses y de la Unión Europea, interesadas en reducir la manipulación económica que pretendían hacer los países árabes con los precios del petróleo. Derivado de esto, se formaron dos líneas paralelas de investigación, una orientada a la parte solar térmica, donde se encontraba el Dr. Pilatowsky, y otra dedicada a cuestiones de la energía solar fotovoltaica, formada por el Dr. Fernández Zayas, el Ing. Odón de Buen y el Dr. Rafael Almanza Salgado (ibíd.).

En paralelo con los grupos de investigación de la UNAM, en 1974 se crea la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), que sería una de las piezas clave para que en la década de los ochenta se consolidara legalmente la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES), la cual comenzó agrupando a diferentes profesionales e interesados en la promoción, conocimiento, aplicaciones y desarrollo de la energía solar y de las demás fuentes de energía renovable. Anteriormente, y desde 1977, esta Asociación celebra la “Semana Nacional de Energía Solar” de manera anual en el mes de octubre, donde se incluyen cursos de actualización, exposiciones, y fundamentalmente, una reunión de carácter técnico y científico. De hecho, la ANES es actualmente la representante de México en la ISES.²²

Dentro de la UAM, el Dr. Juan José Ambriz García, presidente fundador de la ANES y de la Asociación de Técnicos y Profesionistas en Aplicación Energética, actual profesor titular C del Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica en la unidad Iztapalapa, menciona que una de las primeras acciones en las que él participó fue en formar la carrera

²² Para mayor información acerca de esta Asociación, puede consultarse en el siguiente vínculo: <http://www.anes.org/cms/index.php>

enfocada en la energía, colaborando con el Grupo de los Recursos Energéticos para formar capital humano preparado en la materia, ya que se había desarrollado bastante la aplicación térmica de la energía solar de los colectores planos en conjunto con la UNAM y el desarrollo del área fotovoltaica que comenzaría a generar un mayor interés a finales del siglo XX, pero sin ser difundido el tema a todos los sectores económicos, sólo quizá era exclusivo del mundo de las ciencias y la investigación académica.

Lo más curioso dentro de estos antecedentes es que el tema de la tecnología solar fotovoltaica y sus beneficios a nivel nacional no fueron considerados sino hasta principios del siglo XXI con la creación de la Reforma Energética de 2013.

4.3 Usos y aprovechamientos de la energía solar

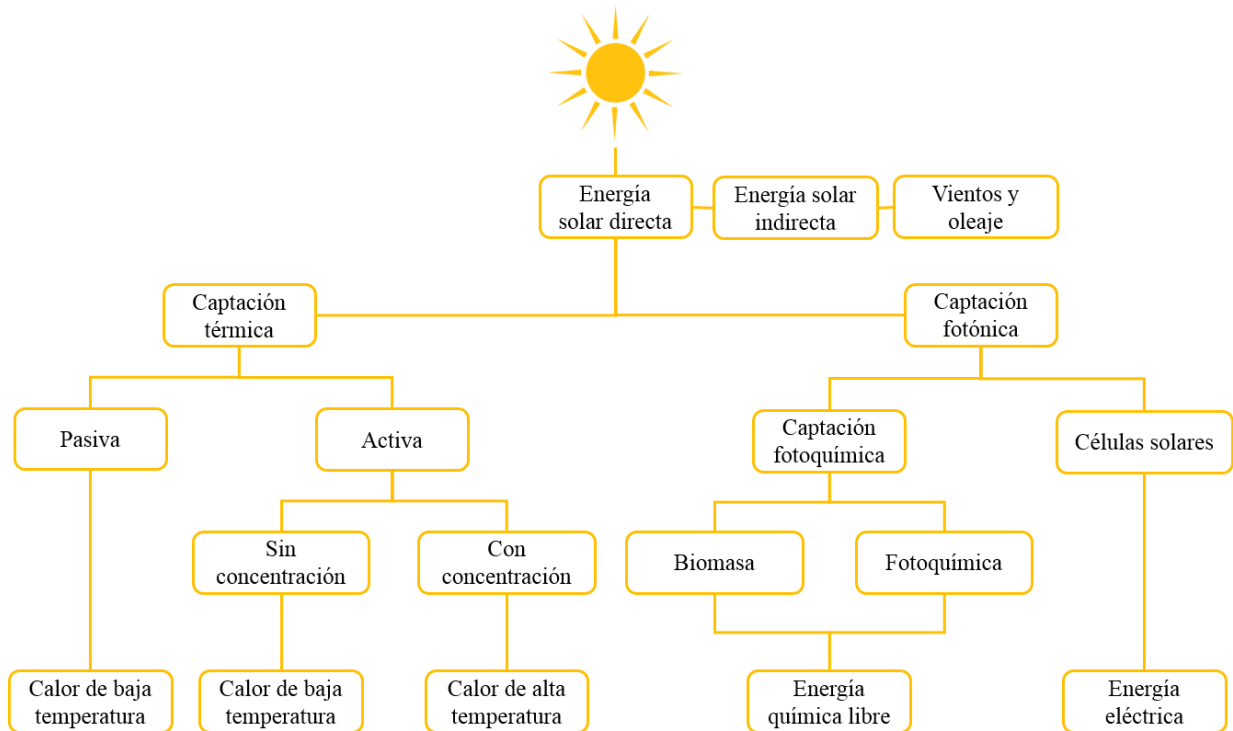
La energía proveniente del sol, en la actualidad, puede ser utilizada para distintos fines, sean estos de cualquier sector de la economía o de usos específicos para el autoconsumo. Sin embargo, uno de los aprovechamientos que ha comenzado a ser más reconocido a nivel nacional es el de generación de electricidad, la cual puede ser utilizada en cualquier término (iluminación, transporte, propulsión de agua, riego, calentamiento de hogares, entre otras muchas finalidades). En la figura 4.3.1 puede resumirse las diferentes formas de energía que se pueden obtener de este recurso renovable.

La captación térmica, o mejor conocida como energía solar térmica²³, puede ser aprovechada para producir calor, tanto de baja como de alta temperatura. En México, el calor de baja temperatura puede ser utilizado, entre otras actividades, para el calentamiento interno de los hogares, para la deshidratación de frutas y verduras o para la cocción de alimentos al aire libre con tecnologías específicas, tales como hornos o estufas que almacenan naturalmente la radiación solar; puede ser aprovechada en calentadores solares de agua para el uso doméstico o para el calentamiento de agua destinada para piscinas públicas. Y el calor de alta temperatura puede ser aprovechado, principalmente, para la botánica en invernaderos o para la agricultura donde la vegetación requiere gran cantidad de calor para cosechas específicas de vegetales, o incluso para la generación de electricidad

²³ En algunos libros de ingeniería en energía también puede encontrarse descrita como “energía termosolar”.

térmica basado en un sistema de evaporación, como se muestra en el anexo I donde se explican las diferentes tecnologías para la captación de esta fuente.

Figura 4.3.1. Diferentes formas de energía obtenidas de la radiación solar



Fuente: Elaboración propia con base en González (2016: 364).

Por otro lado, también se dispone de la captación fotónica, que se divide en dos subgrupos principales: 1) captación fotoquímica, la cual podemos encontrar y observar, principalmente, en la generación de la biomasa (o materia orgánica) y como elemento primordial en el proceso de fotosíntesis de las plantas, y 2) la muy reconocida energía solar fotovoltaica²⁴, la cual convierte la radiación solar directa en electricidad por medio de materiales semiconductores que propician el efecto fotovoltaico²⁵.

²⁴ El término fotovoltaico proviene del griego *foto*, que significa “luz”, y *voltaico* hace referencia al físico italiano Alessandro Volta, quien fue el inventor de la pila eléctrica y que dio su nombre a la unidad de fuerza electromotriz, el *voltio* (González, op. cit.).

²⁵ El conocimiento de esta fuente de energía inició con el físico Alexandre Becquerel en 1939, quien descubrió que la tensión eléctrica de unas láminas de plata aumentaba cuando éstas se dejaban expuestas a la luz solar por cierto período. Este descubrimiento inspiró para que la tecnología solar fotovoltaica comenzara

Posteriormente aparecen las investigaciones enfocadas en células solares, que dieron cuenta del alto costo de la tecnología fotovoltaica, por lo que sólo sería de uso exclusivo en la industria aeroespacial para la construcción de satélites y dispositivos electrónicos específicos del sector. Empero, debido a los buenos resultados de la tecnología solar aplicada, esta pudo ser considerada para el uso terrestre en la década de los setenta, interés que justamente coincidió con la subida del precio del petróleo que se pudo apreciar en la gráfica 3.2.1 del capítulo anterior. A partir de esta década, la eficiencia y el desarrollo de las células solares comenzó a crecer (véase anexo I), propiciando que esta tecnología se volviera altamente competitiva en el mercado eléctrico internacional.

En México, el uso particular de esta fuente de energía en sistemas terrestres es relativamente moderno y aún se encuentra en fases de mejora. Esta tecnología puede encontrarse extendida en diferentes sectores económicos. Inclusive, gracias a la Ley de la Industria Eléctrica explicada en el capítulo anterior, se utiliza para reducir los impuestos que se le pagan a la CFE por el suministro de energía, esto bajo un contrato que celebra con su suministrador de servicios básicos un usuario final, quien es considerado gran consumidor de energía eléctrica (generalmente, quienes pagan más de 2,500.00 pesos mensuales de servicio público eléctrico). Este consumidor, siendo persona física o moral, puede optar por adquirir la capacidad de inyectar energía a la red como Generador Exento, Generación Distribuida o Generación Limpia Distribuida mediante un arrendamiento en coordinación con el suministrador de servicios básicos, que es la CFE.

4.4 Comparativo tecnológico general

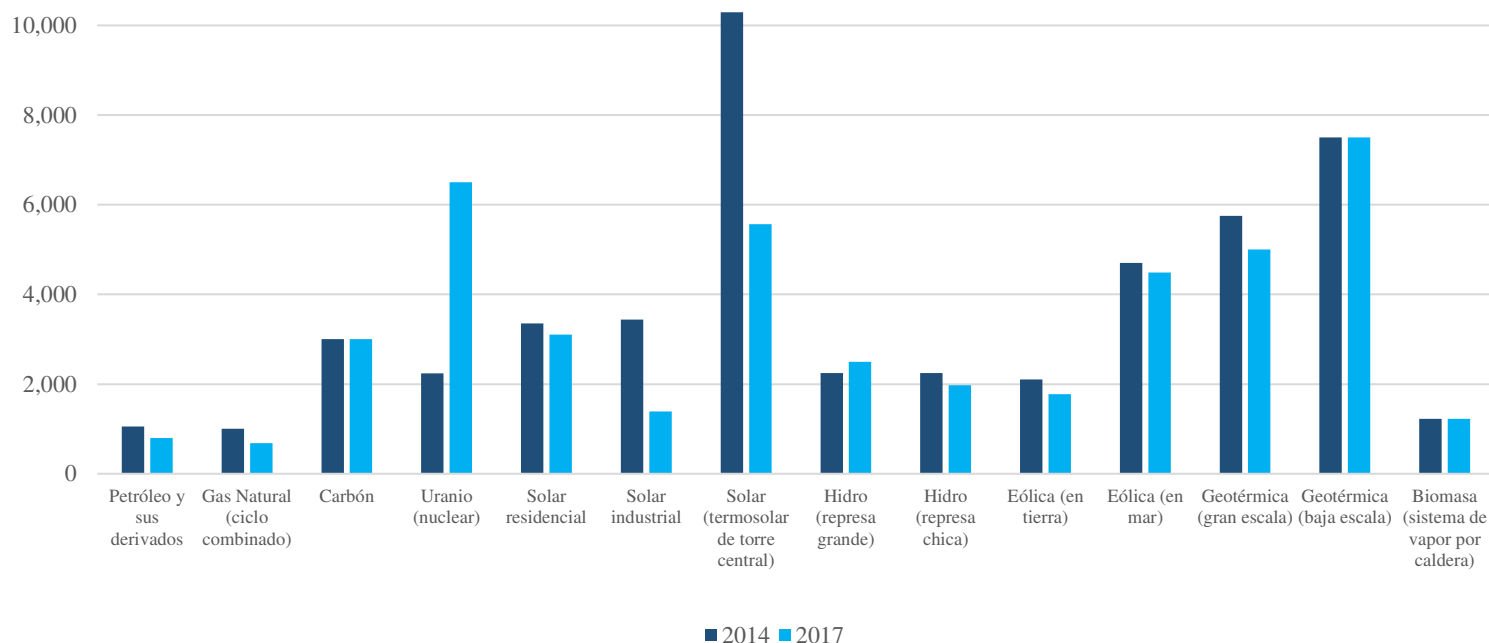
Para poder establecer qué tan viable puede ser la tecnología solar para la producción de electricidad, en los gráficos 4.5.1 y 4.5.2 se presentan algunos de los costos que son considerados importantes para el establecimiento de los proyectos solares en comparación con otras fuentes de energía tanto convencional como alternativa.

Como puede apreciarse en el gráfico 4.5.1, el costo promedio de instalación de la tecnología solar se ha venido reduciendo en los últimos tres años después de que entró en

con Charles Fritts, quien desarrolló la primera célula solar a base de Selenio en 1883, siendo este un dispositivo sencillo y con una eficiencia del 1 por ciento (Fraas, 2014; González, op. cit.).

vigor la Reforma Energética. En comparación con las otras fuentes de energía, los proyectos solares para el sector industrial (generalmente mayores a los 500kW), y de torre central (de 1MW o más), redujeron sus costos 26% y 18% respectivamente.

Figura 4.5.1. México: Evolución del costo promedio de instalación por fuente de energía
(US\$/kWh)



Nota: El costo para el carbón, gas natural y uranio fueron calculados con base en proyectos establecidos en E.U.

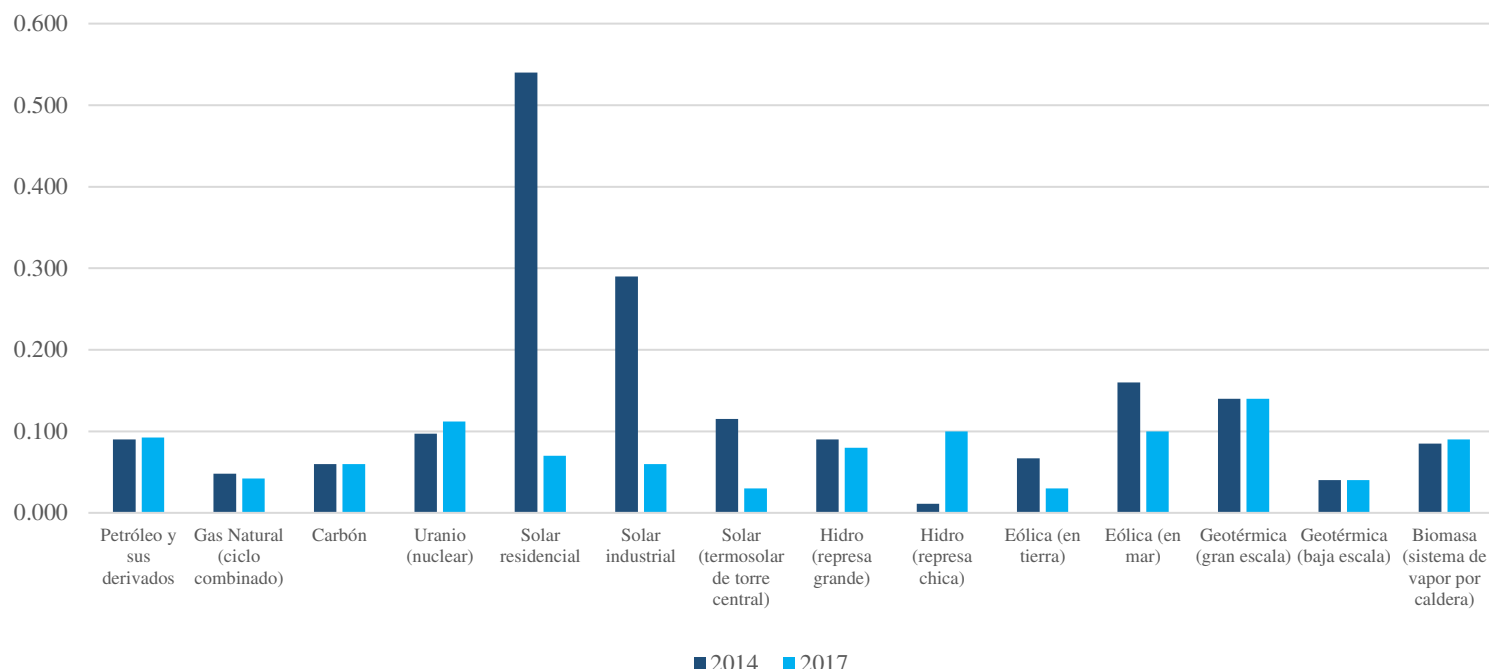
Fuente: Elaboración propia con base en IRENA (2015 y 2018) y Lazard's LCOE (2014 y 2017).

Por otro lado, el costo en la electricidad proveniente de fuentes solares ha sido el que más ha caído en los últimos tres años (véase gráfico 4.5.2). De hecho, los tres proyectos solares, residencial, industrial y torre central, han reducido sus costos en 49%, 41% y 36% respectivamente, más que cualquiera de las tecnologías presentadas en la misma gráfica.

Esta reducción en ambos indicadores a nivel nacional se debe, en gran parte, a las políticas de largo plazo orientadas a la adopción de energías renovables que han seguido y sugerido los países más industrializados y de algunos en vías de desarrollo, como India y China, principalmente. Estas políticas han logrado el surgimiento de un gran número de empresas con mucha experiencia, las cuales han desarrollado proyectos de mediana y gran escala, llevando consigo una intensa competencia por el establecimiento de obras de generación limpia que han logrado la disminución de los costos y un aumento en la

eficiencia de los módulos fotovoltaicos, esto conforme avanza la innovación en los materiales que componen a las células solares (IRENA, 2018).

Figura 4.5.2. México: Evolución del costo promedio de la electricidad por fuente de energía (US\$/kWh)



Nota: El costo para el carbón, gas natural y uranio fueron calculados con base en proyectos establecidos en E.U.

Fuente: Elaboración propia con base en IRENA (2015 y 2018) y Lazard's LCOE (2014 y 2017).

Por su lado, a pesar de todos los logros de la industria solar para reducir los costos de la tecnología, así como de la electricidad, no todo en las energías renovables puede ser eficiente. De hecho, todas las fuentes de energía tienen ventajas y desventajas (véase tabla 4.5.1) que deben ser consideradas por los tomadores de decisiones y desarrolladores antes de buscar financiar un proyecto de cualquier tipo o capacidad a ser instalada.

Tabla 4.5.1. Ventajas y desventajas de las diferentes fuentes de energía

Termoeléctrica (petróleo y sus derivados)	
Ventajas: • Alto rendimiento energético de conversión de la energía primaria en secundaria: 12 kWh / litro de petróleo, aproximadamente. • Fácil regulación de la combustión. • Gran diversidad de productos derivados de su producción.	Desventajas: • Acelerada y cercana escasez de reservas. • Oscilaciones bruscas en el precio que se establece a nivel internacional. • Alto nivel de residuos y emisiones durante el proceso de extracción y distribución. • Emisiones atmosféricas (CO₂, NO_x, NO₂ y SO₂) y de partículas durante su transporte y utilización.

	• Riesgo de accidentes y fugas irreparables durante su transporte, especialmente en embarcaciones. • Necesidad de un espacio seguro para su almacenaje. • Mantenimiento frecuente de la infraestructura para su almacenamiento y proceso. • Se sabe que su combustión es la actividad principal y causante del efecto invernadero en todo el mundo.
Ciclo combinado (gas natural)	
Ventajas: • Excelente rendimiento energético de conversión de la energía primaria en secundaria: 12 kWh / 0.9 litros de gas natural, aproximadamente. • Bajo mantenimiento de la infraestructura para su almacenamiento. • Enormes reservas probadas en el mundo.	Desventajas: • Residuos y emisiones en el proceso de su extracción. • Altas emisiones atmosféricas de efecto invernadero (CO₂) durante su transporte y utilización. • Riesgo de fugas de metano (CH₄, considerado un potente GEI) durante su transporte. • Uso limitado en las zonas urbanas con red de distribución. • Activo principal de la actividad <i>fracking</i>.
Carboeléctrica (carbón mineral)	
Ventajas: • Buen rendimiento energético de conversión de la energía primaria en secundaria: 12 kWh / 2.25 kg de carbón en promedio, según su estado natural. • Abundantes reservas a nivel mundial. • Diversas características y propiedades para su uso.	Desventajas: • Residuos, emisiones y contaminación del suelo y mantos acuíferos en el proceso de extracción. • Emisiones atmosféricas (CO₂, NO_x, NO₂ y SO₂) y de partículas durante su transporte y utilización. • Debido al proceso de refrigeración del vapor de esta industria, considerado un residuo, se produce un aumento de la temperatura en los ecosistemas de los alrededores a esta industria.
Nuclear (uranio)	
Ventajas: • En proyectos avanzados y bien establecidos, existe un estratosférico rendimiento energético de conversión de la energía primaria en secundaria: 425,000 kWh / kg de uranio, aprox. • No emite GEIs. • Importantes yacimientos en territorio mexicano de recursos nucleares.	Desventajas: • Emisiones y contaminación del suelo y agua durante el proceso de extracción de los insumos. • Residuos altamente radiactivos y tóxicos. Estos contienen elementos que pueden permanecer desde los 30 hasta millones de años antes de que se degraden. • Los residuos se utilizan en bombas nucleares. • Incertidumbre de la población aledaña ante un accidente nuclear. • El uranio puede propagarse por el aire y por el agua, exponiendo a todo ser vivo a cánceres letales. • México es miembro del Tratado de Tlatelolco, el cual estipula la prohibición de la explotación y comercialización de los recursos nucleares, por lo que esta industria necesariamente requiere importar estos recursos, lo que incluye un alto costo en los insumos.
Hidráulica (recursos hídricos)	
Ventajas: • Para su funcionamiento, utiliza una fuente de energía renovable. • Los costos de mantenimiento y explotación son bajos. • Extensa durabilidad de la obra. • Ayuda al control de inundaciones y se puede utilizar como método de riego. • No provoca emisiones atmosféricas ni otro tipo de residuos. • Promueve el aprovechamiento de los recursos locales. • En temporada de lluvias, aumenta su productividad.	Desventajas: • Considerable desembolso económico al inicio de la obra. • El permiso y la construcción, según sea el caso, puede llevar desde los 4 hasta 10 años en concretarse. • En algunos lugares, la disponibilidad del recurso varía con las estaciones del año. • Cambios irreversibles en todos los ecosistemas alrededor de la obra cuando se desvían los flujos naturales del agua para su construcción. • Construcción altamente estratégica a la que no todas las personas interesadas pueden acceder. • En temporadas de fuertes lluvias, existen posibles inundaciones en las comunidades aledañas. Hay casos de poblaciones completas las cuales han tenido que emigrar a otras regiones debido a lo anterior, incluso casos en los que por mandato del Estado deben dejar sus hogares para estas construcciones estratégicas.
Eólica (viento)	
Ventajas: • No provoca emisiones ni residuos. • Promueve el aprovechamiento de los recursos locales. • La obra puede instalarse en cualquier espacio donde las condiciones de viento sean adecuadas.	Desventajas: • Impacto paisajístico desde el punto de vista estético de la naturaleza. • Excesiva contaminación por ruido. En algunos casos, es el ruido el que desorienta la migración de aves. • Casos de muerte de aves por el movimiento acelerado de las hélices.

• La instalación de la obra es relativamente rápida.	• Las turbinas pueden dispersar señales electromagnéticas, lo que provoca interferencias en los sistemas de comunicación. • La productividad depende de las estaciones del año. • En ocasiones, la energía producida es intermitente. • Durante el mantenimiento, se necesitan cantidades considerables de aceites para los engranajes y la lubricación del torque en las hélices. • En el caso de México, existe una notable falta de personal calificado, especialmente en el campo del servicio / mantenimiento. • En lugares remotos, las hélices a menudo se averían debido a la falta de mantenimiento, repuestos o mano de obra capacitada para administrarlas.
Geotérmica (vapor de agua)	
Ventajas: • No provoca emisiones ni residuos. • Promueve el aprovechamiento de los recursos locales. • El terreno requerido para la construcción de la obra es menor en comparación con otras fuentes de energía renovable.	Desventajas: • Evidentemente, no está disponible más que en lugares con una constante actividad volcánica. • En ciertos casos, implica un peligro para los usuarios por la exposición a emisiones de ácido sulfhídrico, que en grandes cantidades no se percibe su olor y puede ser letal. • Puede generar contaminación de masas de agua cercanas, ya que los vapores pueden arrojar sustancias como arsénico, amoníaco, entre otros, que pueden ser nocivos o causar la muerte para quien los consume accidentalmente. • En proyectos donde la eficiencia energética es más alta, los usuarios pueden exponerse a temperaturas por encima de los 300°C. • En este sector, la competencia empresarial se reduce debido a que son pocos los recursos y lugares estratégicos, en los que en su mayoría ya hay empresas instaladas.
Biomasa (madera)	
Ventajas: • Amplia variedad de recursos: residuos de carpintería, cáscaras de frutos, subproductos forestales, entre otros. • El consumo de estos insumos contribuye al mantenimiento de las economías locales. • Buena eficiencia energética en su combustión. • Bajo nivel de emisiones contaminantes.	Desventajas: • Emisiones atmosféricas durante su transporte. • Necesidad de espacios amplios para su producción y almacenamiento. • Requiere de un mantenimiento frecuente para generar una buena combustión. • Las calderas de biomasa para la generación eléctrica son más costosas que las tradicionales de calefacción. • La producción suele ser estacional. • Poco desarrollo e interés de la industria de biomasa en México. • Falta de una industria que promueva el uso de esta fuente. • Pocos beneficios económicos de la venta de biomasa para la generación eléctrica.
Solar (fotones)	
Ventajas: • Fuente inagotable y reducido impacto ambiental. • Elevada eficiencia. • No provoca emisiones atmosféricas ni residuos al momento de su uso. • Promueve el aprovechamiento de los recursos locales. • El costo de la tecnología ha ido disminuyendo en los últimos 10 años. • Derrama de conocimientos y aplicaciones de la tecnología solar fotovoltaica. • La tecnología puede instalarse en zonas remotas. • Muy bajo costo de mantenimiento. Si se hace correctamente, permite recuperar la inversión entre los 7 y 15 años. • México se considera un país privilegiado en cuanto a recursos solares disponibles a nivel mundial.	Desventajas: • Impacto paisajístico en el caso de las granjas solares. • Su funcionamiento depende, en gran medida, de las condiciones meteorológicas. • Para una capacidad instalada eficaz, necesita una gran cantidad de celdas fotovoltaicas y de espacios amplios. • La infraestructura de ventas, instalación y soporte para sistemas está muy poco desarrollada, lo que genera un mayor costo de entrega y mantenimiento. • En ubicaciones remotas sin protección, existe el riesgo de que los módulos y otros componentes del sistema sean robados o vandalizados. • En México existen pocos yacimientos de Silicio, elemento fundamental para I+D+i de células solares a nivel local. • Aunado al punto anterior, suele haber alta contaminación del subsuelo al momento de extraer el Silicio. • Algunas instituciones, como los manuales de interconexión a la red, no están estandarizadas. • En el caso de México, el proceso para la instalación de un techo solar suele tardar 40 días en promedio, debido a la burocracia existente en algunas dependencias de la CFE.

	• Hay un débil aprovechamiento de los recursos solares debido a la pobre legislación nacional. • Existen políticas públicas que penalizan más de lo que fomentan. • Limitada oferta de licenciaturas y posgrados en la materia, lo que genera una baja oferta de mano de obra calificada. • Elevados aranceles de ciertos materiales e infraestructuras por parte de E.U., el mayor socio comercial de México.
--	---

Fuente: Elaboración propia con base en estadísticas del BP, IRENA (op. cit.), WNA (2017), Energypedia.info y respuestas extraídas del estudio de caso (véase capítulo V).

4.5 Tecnología solar para la industria energética mexicana

En el mercado energético se puede encontrar una gran variedad de diseños que pueden ayudar a captar la energía solar, tanto térmica como fotovoltaica, y convertirla en energía eléctrica. Los procesos y la tecnología que se utiliza principalmente en proyectos específicos, y de los cuales se tiene experiencia en México, son paneles solares de uso residencial, industrial o público, así como la energía termosolar para la producción de energía eléctrica (véase su aplicación en el anexo II).

En el desierto de Sonora, en México, existe el Campo Experimental de Torre Central (CEToC) que fue creado conjuntamente por la Universidad de Sonora y la Universidad Nacional Autónoma de México para realizar investigación, desarrollo e innovación enfocadas hacia el diseño, ensayo y evaluación de componentes y subsistemas como seguidores solares, helióstatos, receptores solares, sistemas de almacenamiento térmico y sistemas de control. Además, sirve como laboratorio de prototipos para diferentes aplicaciones donde se requieren altas concentraciones de radiación solar, e imparten estudios sobre ciclos termodinámicos para la generación de energía eléctrica.²⁶

Por otro lado, además de este campo experimental, con el apoyo del Fondo Sectorial CONACYT-SENER investigadores adjuntos a la Universidad Tecnológica de Hermosillo (UTH), en Sonora, se construyó y se inauguró en septiembre de 2017 el Centro de Innovación en Energías Renovables (CIER) con la finalidad de realizar experimentos y pruebas de energías renovables. Lo interesante de este centro es que estará destinado para que estudiantes, docentes, profesionales del área de eficiencia energética, el gobierno del estado, instituciones académicas, empleados y colaboradores de la industria realicen

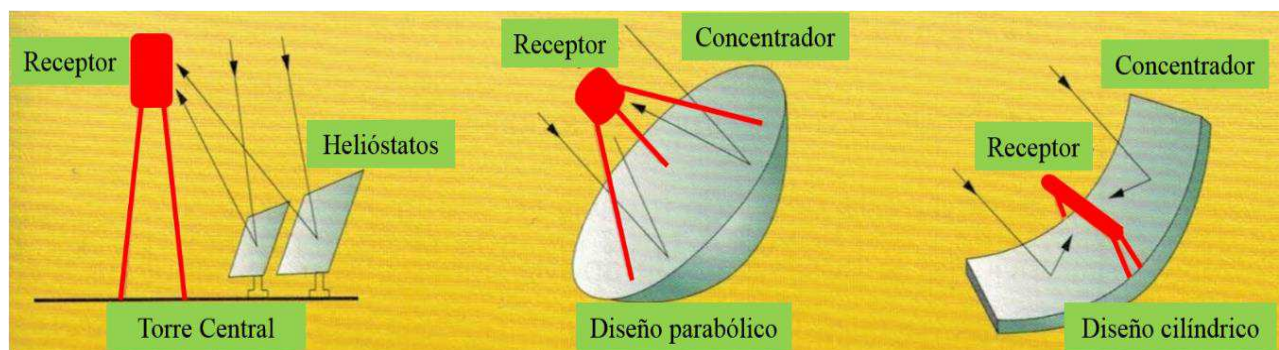
²⁶ El artículo no está bien referenciado, sin embargo, puede consultarse la información en el siguiente vínculo: <https://www.fis.unam.mx/~trujillo/ClubAstro/LaUnion/2014/2014-06-28-AstroUnion.pdf>

investigaciones regionales para establecer proyectos que produzcan energía limpia y ofrezcan estos servicios a empresas públicas y privadas; al mismo tiempo, se busca acercar estas tecnologías en materia de eficiencia energética a toda la sociedad interesada en el tema, a inversionistas, al gobierno y a las universidades que deseen desempeñarse en este sector.²⁷

Por último, de acuerdo con información de la CFE, se está llevando a cabo la construcción de una Central Termosolar de concentrador parabólico en el municipio de Agua Prieta, Sonora, que se estima tendrá una capacidad instalada de 12 MW. A diferencia de la Central Termosolar de torre central (figura II.3, Anexo II) y del concentrador cilíndrico, la tecnología parabólica dirige la radiación solar en el foco del paraboloide donde se encuentra el receptor principal (véase figura 4.1).

De los tres tipos de tecnología, la forma parabólica logra concentrar una mayor temperatura que oscila entre los 70 y 1,000 grados Celsius, además de constituir una unidad independiente, o ser parte de un grupo de interconexión que puede lograr una mayor eficiencia, cada unidad de este sistema puede alcanzar una capacidad entre los 20 y 30 kWh de potencia eléctrica (García, op. cit.; González, op. cit.) según las horas de insolación y la zona geográfica donde sean instalados.

Figura 4.5.1. Diseños tecnológicos de concentradores solares térmicos



Nota: Se editó la imagen para una mejor resolución y se cambiaron algunos detalles de información.

Fuente: Extraída de González (op. cit.: 393).

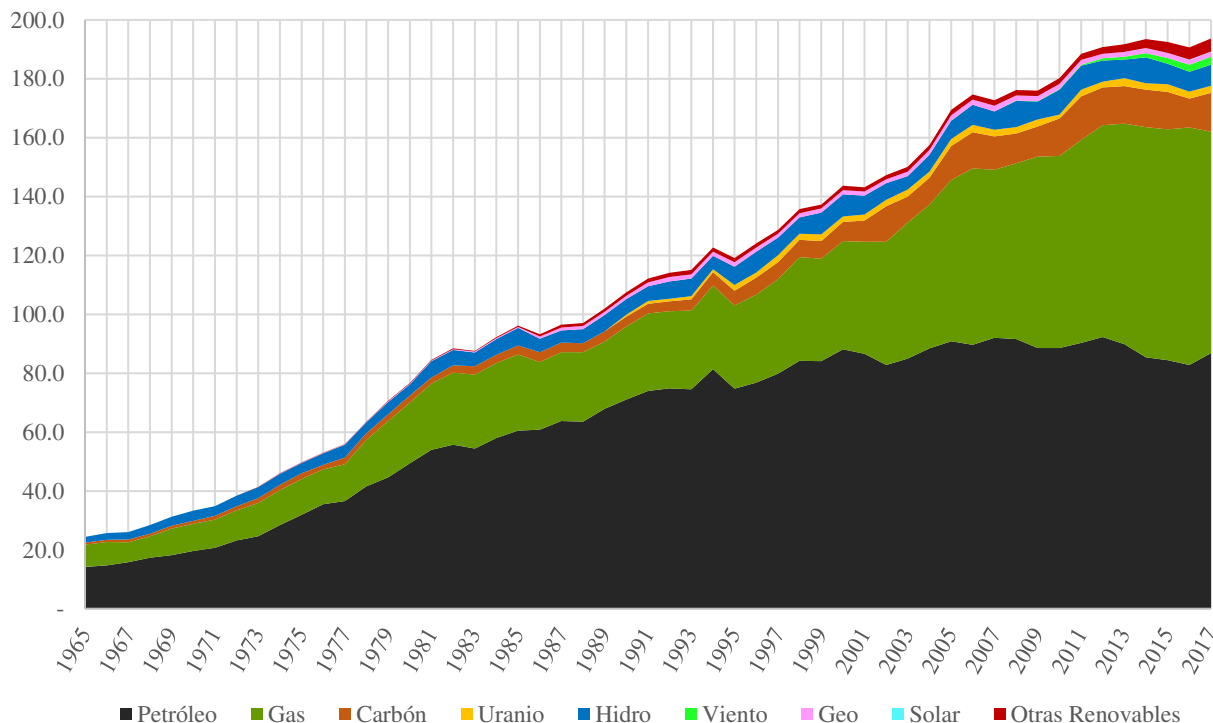
²⁷ Para mayor detalle sobre este Centro, puede consultarse la información en el siguiente vínculo:
<http://www.uthermosillo.edu.mx/index.php/2017/09/26/inauguran-centro-de-investigacion-en-energias-renovables-cier-en-uth/>

Al igual que los helióstatos o los concentradores cilíndricos, los discos parabólicos variarán en forma y tamaño, según la superficie con la que se cuente y de la disponibilidad de los materiales para el establecimiento de un proyecto de este tipo.

4.6 Panorama general del subsector solar en México

Históricamente, el sistema energético mexicano ha estado caracterizado por contar en su mayoría por petróleo, gas natural y carbón, elementos naturales que en promedio han contribuido con más del 90% de la oferta energética nacional desde 1965, tal como se puede observar en la gráfica 4.6.1, lo que en la actualidad se ha convertido en un problema medioambiental, ya que gran parte de las emisiones de GEI son provenientes del uso de estos combustibles. Lo anterior, por una parte, logró el establecimiento de las leyes secundarias de la Reforma Energética que se explicaron en el capítulo anterior, las cuales promovieron la participación de las energías renovables en esta matriz, pues reducen en gran medida los problemas ambientales ocasionados por las formas convencionales de generación de energía.

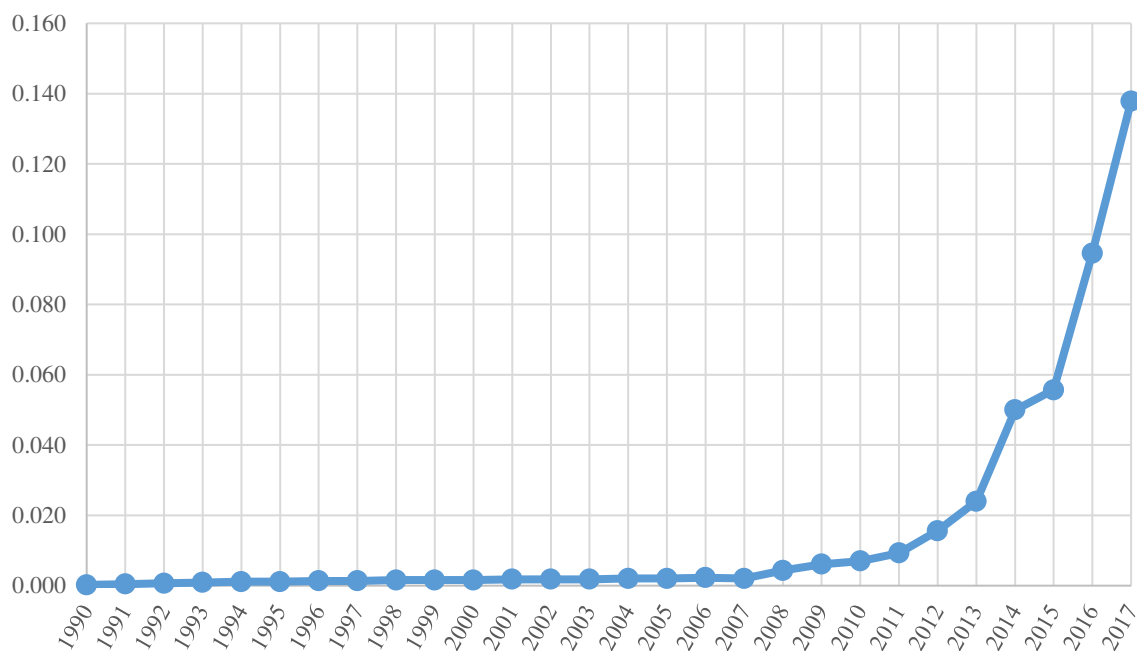
Gráfico 4.6.1. México: consumo de las diferentes fuentes de energía, 1965-2017
(millones de toneladas de petróleo equivalentes, mtpe)



Fuente: Elaboración propia con base en estadísticas del BP.

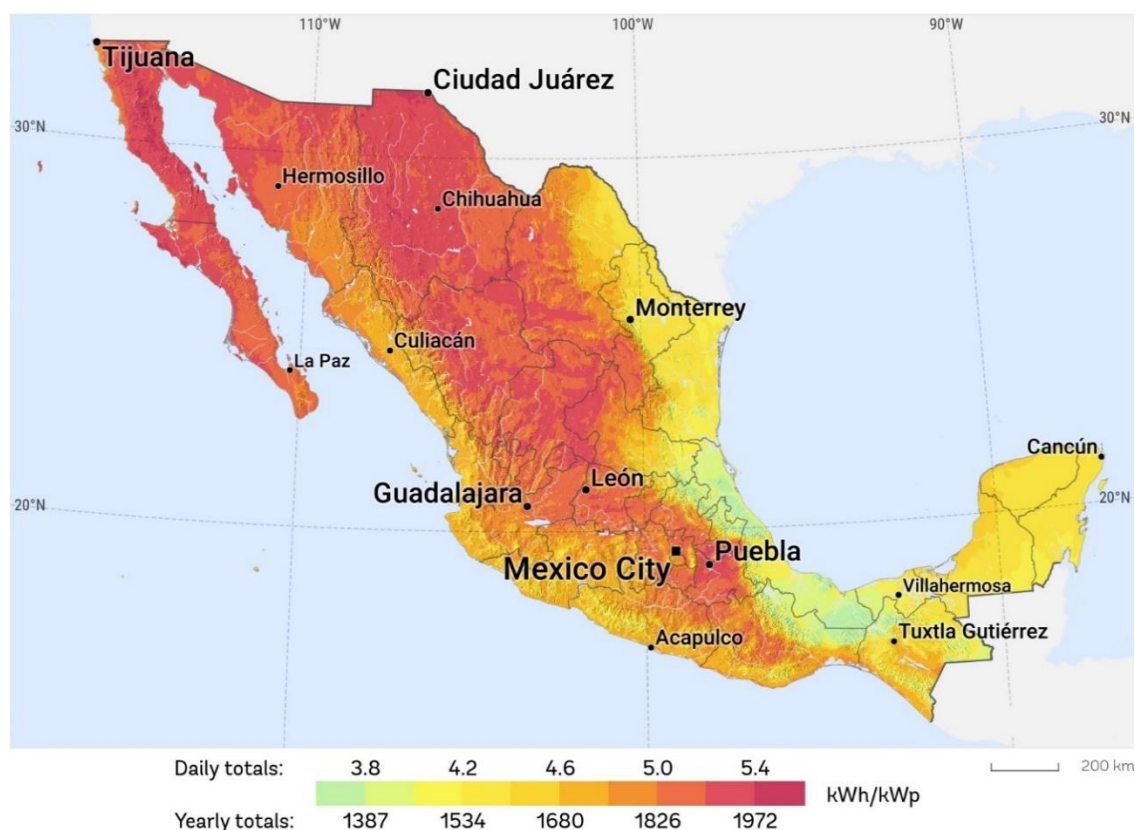
A decir de la energía solar, en el gráfico anterior no se puede apreciar la participación de la energía solar, ya que ésta ha sido menor al 1% durante el período comprendido en la misma. Empero, en el siguiente gráfico (4.6.2) se muestra la fuente de manera individual, en la cual se puede observar que la tasa promedio de crecimiento anual de esta es de poco más del 20% en el período de 1990-2012, colocándola en la segunda posición después de la energía eólica (39.7%), y de casi 42% en el período 2013-2017, lo que nos lleva a mencionar que es la fuente de energía con mayor crecimiento a nivel nacional desde que se llevó a cabo la Reforma Energética.

Gráfico 4.6.2. México: Consumo de recursos solares, 1990-2017
(Mtpe)



Fuente: Elaboración propia con base en estadísticas del BP.

Este crecimiento que adopta una forma exponencial puede ser acreditado no sólo por las inversiones que ha atraído el territorio nacional, además de cuestiones en las que ha tenido gran influencia la participación de la comunidad científica para dar a conocer los beneficios de la energía solar, es importante destacar el suministro con que cuenta México para el aprovechamiento de esta fuente de energía, lo cual se puede observar en la figura 4.6.1.

Figura 4.6.1. Potencial promedio de energía solar en México

Nota: El promedio anual, según la fuente de información, se realizó en el período de 1999-2015.

Fuente: The World Bank, con datos de SOLARGIS.

Dado este importante suministro de energía solar que se mostró en el mapa anterior, se lograron establecer algunos proyectos para la producción de electricidad en diferentes zonas del territorio. Como se puede observar en siguiente tabla (4.6.1), al año 2016 han podido ser establecidas un total de 17 centrales eléctricas, las cuales suministran en promedio 145 MWh de electricidad al día, mismas que se encuentran distribuidas estratégicamente en las zonas Norte, Occidental y Central del país, tal como se aprecia en la figura 4.6.2.

Tabla 4.6.1. México: centrales de generación solar en 2016

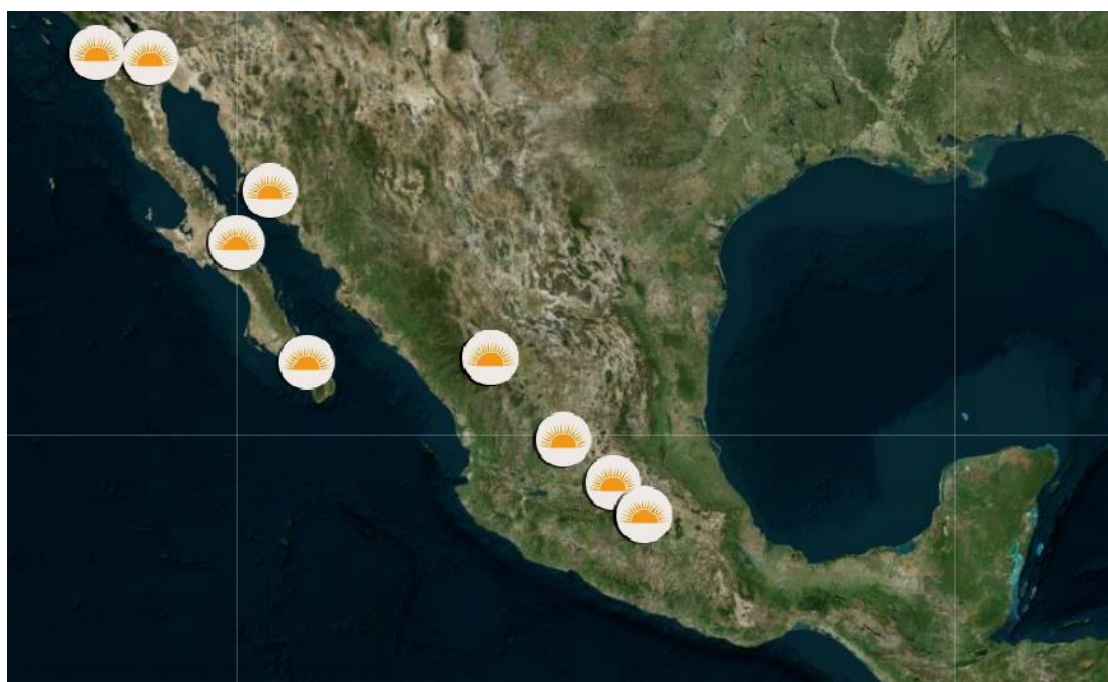
No.	Nombre	Entidad Federativa	Esquema ¹	Capacidad Instalada ² (MW)
1	Autoabastecimiento Renovable	Aguascalientes	AUT	1
2	Coppel	Sonora	AUT	1
3	Generadora Solar Apaseo	Guanajuato	AUT	1

4	IUSASOL 1	Edo. México	AUT	18
5	IUSASOL Base	Edo. México	AUT	1
6	Oomapas Nogales	Sonora	AUT	1
7	PLAMEX	Baja California	AUT	1
8	Los Santos Solar I	Chihuahua	AUT	20
9	Productora Yoreme	Sonora	GEN	1
10	Cerro Prieto	Baja California	GEN-CFE	5
11	Sta. Rosalía (Tres Vírgenes)	B. California S.	GEN-CFE	1
12	Servicios Comerciales de Energía	B. California S.	P.P.	30
13	Tai Durango Cinco	Durango	P.P.	30
14	Tai Durango Cuatro	Durango	P.P.	6
15	Tai Durango Dos	Durango	P.P.	6
16	Tai Durango Tres	Durango	P.P.	6
17	Tai Durango Uno	Durango	P.P.	16
TOTAL				145

Nota: 1 AUT: Autoabastecimiento; GEN: Generación; GEN-CFE: Generación de la Comisión Federal de Electricidad; P.P.: Pequeña Producción. **2** Algunas cifras fueron redondeadas.

Fuente: Elaboración propia con información de la CFE, la CRE y el CENACE.

Figura 4.6.2. Ubicación de las centrales de generación solar



Fuente: INERE, consultado el 28 de junio de 2018.

Además de las principales centrales que al día de hoy continúan generando energía eléctrica desde este subsector, a finales del año 2017 se han podido localizar un total de 321 proyectos (véase figura 4.6.3) que entrarán a este mercado en competencia como resultado de las tres subastas de largo plazo que ha celebrado la CRE con los distintos grupos interesados, de los cuales 161 (50.2 por ciento) se encuentran en construcción, 159 (49.5%)

están en espera de otorgarles permisos para suministrar el servicio eléctrico, y un solo proyecto se encuentra inactivo (INERE). En total se estima que estos proyectos, en conjunto con los ya establecidos, ofrecerán al mercado energético nacional una capacidad de generación de 25,171 MWh en promedio al día, incrementándose la capacidad solar instalada un 173 por ciento respecto al año 2016.

Figura 4.6.3. Ubicación de la oferta futura de centrales solares



Fuente: INERE, consultado el 28 de junio de 2018.

Desde luego, aunque el incremento en la participación de la energía solar en la matriz energética de México será muy importante para el abastecimiento de la demanda nacional futura, nos encontramos con dos anotaciones importantes con esta diversificación y la creciente oferta de energía. El primer detalle reside en que los proyectos de energía solar que están por comenzar sus actividades, en conjunto con los que se están construyendo y los que ya están instalados, apenas cubren el 0.99% del consumo total de energía eléctrica en el país, y sumando la participación total de las energías renovables, éstas han crecido sólo el 5.3% desde el año 2013 y el 4.4% desde el año de 1995, de acuerdo con las estadísticas del BP. Lo anterior puede verse tanto como un problema como un dato a ser

muy considerado, ya que cabe hacer el recordatorio de la Ley General de Cambio Climático, la cual estableció que para el año 2024 la participación de estas fuentes en la matriz energética nacional será del 35%, lo que representa un reto muy grande para las instituciones y organizaciones enfocadas en la materia, en especial para el Estado, pues a 4 años de la reforma aún estamos muy lejos de cumplir con este objetivo, de modo que la única posibilidad de alcanzar esa meta estaría completada si aún se considera a la energía hidráulica dentro de esa contabilidad.

Por un lado, bajo la misma temática y realizando un comparativo internacional, a finales del año 2017, México ya contaba con una capacidad instalada de energía solar fotovoltaica acumulada de 539 MWh al día, mientras que Alemania, siendo un país que es aproximadamente cinco veces y medio más pequeño que México, ya tenía una capacidad instalada de 42,394 MWh. Asimismo, y con excepción de Noruega (45 MWh), Finlandia (50 MWh) y Hungría (300 MWh), los demás países de la Unión Europea rebasan a México en cuanto a la infraestructura disponible para la captación de energía solar, recordando que el territorio mexicano tiene una ventaja comparativa de radiación solar muy superior a la que tienen otros países del mundo, tal como se observó en la figura 4.1.1 en la introducción de este capítulo. Además, de los 36 miembros de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE), considerando sólo a 27 de estos miembros²⁸, México se posiciona en el lugar 24 como productor de energía eléctrica basada en recursos solares disponibles, lo cual puede verse como un dato lamentable desde la perspectiva de generación eléctrica a partir de recursos renovables.

Bajo el supuesto de que se mantuviera el ritmo de crecimiento actual en la participación de las energías renovables (5% en promedio), en los 18 años que quedan para cumplir la meta, es posible que éstas logren una participación entre el 25% y 30%, esto sólo en condiciones de *ceteris paribus*. Aunque esta última condición sólo es posible teóricamente, el ritmo de consumo de electricidad de los residentes mexicanos ha crecido 4% en promedio desde 1965, algo que pareciera no ser mucho, sin embargo, las

²⁸ Eslovenia, Estonia, Islandia, Irlanda, Latvia, Lituania, Luxemburgo y Polonia, están considerados dentro del grupo “Otros de Europa” en las estadísticas consultadas del BP, por lo que se excluyeron del comparativo, ya que no se explica cuál es el porcentaje de participación de cada uno de los países en este grupo. Lo mismo aplica para Nueva Zelanda, que se encuentra en el grupo “Otros de Asia y el Pacífico”.

condiciones de vida de las personas han cambiado radicalmente en los últimos 10 años, y no sólo de los residentes nacionales, sino de todas las personas en el mundo.

El segundo tema con el que nos encontramos deriva de esto último, ya que estamos frente a una era en transición hacia lo digital. Esto es, detrás de cada anuncio publicitario o espectacular que transitó de las lonas y pancartas a las pantallas electrónicas; de cada teléfono móvil que transitó de sólo requerirse para llamadas y mensajería a un dispositivo con miles de aplicaciones y herramientas que cada vez demandan que los usuarios tengan siempre a la mano su cargador o una batería de emergencia; de cada industria que transitó de requerir el ingenio, la supervisión y la mano de obra humana a la gestión de la inteligencia artificial y mano de obra electrónica, nos lleva a pensar que para sostener estas actividades se requerirá una transición en las centrales eléctricas nacionales, las cuales deberán multiplicar los GWh al año generados en el mismo lapso de tiempo, y esto sólo sucederá debido al alto consumo eléctrico que las personas han empezado a reportar incluso desde la infancia, que ya se les observa con un gran interés por tener en sus manos un dispositivo electrónico que los mantenga ocupados.

Es importante mencionar que la sostenibilidad se convierte en algo indispensable, ya que la tecnología no puede sustituir el desgaste ambiental que se tiene en el planeta, como se ha discutido en el marco teórico con el enfoque de la economía ambiental. En este sentido, podemos imaginar un mundo sin petróleo, pero no uno sin energía eléctrica, es por esto que si realmente se quiere transitar hacia una economía donde la participación de las energías renovables cubra cierto porcentaje que poco a poco cederán los combustibles convencionales, se deberán aplicar las instituciones correctas o renovar las existentes no necesariamente para aumentar la competencia a nivel nacional con la finalidad de encontrar nuevamente la idea neoclásica del costo cero en la energía eléctrica, o en los insumos principales para realizar estas obras de energía limpia, sino para desbancar el objetivo de que las centrales que producen y suministran energía limpia tengan la obligación de apropiarse de más extensiones territoriales o que necesariamente se tenga que explorar y explotar más yacimientos de recursos naturales no renovables.

Capítulo V. En medio de la transición energética: los casos de ASOLMEX, Gauss Energía y Enlight México.

5.1. Introducción

Como ya se mencionó en secciones pasadas, la Reforma Energética fue muy importante para que las industrias y empresas dedicadas a la promoción de energía por medio de fuentes renovables pudieran establecerse y competir en el mercado eléctrico mexicano.

Si bien se sabe que la mayoría de las empresas dentro del subsector solar son extranjeras, cabe rescatar a tres de las organizaciones, 100% mexicanas, que han sido muy importantes para el desarrollo de la industria solar nacional, incluso antes de que se llevara a cabo la reforma en 2013.

A continuación, se presentará una breve descripción de las tres organizaciones que se consideraron para la parte empírica de esta investigación.

5.2. El caso de ASOLMEX, A.C.

ASOLMEX, de acuerdo con su descripción²⁹, es una organización que se enfoca en reunir a operadores, inversionistas, proveedores y desarrolladores de Centrales Solares Fotovoltaicas a Gran Escala y de Generación Distribuida, representando sus intereses ante las dependencias y entidades del Sector Público, Asociaciones, Cámaras y Organismos Privados (nacionales e internacionales), con la finalidad de promover el desarrollo de la industria solar fotovoltaica en México.

Dado que tienen presencia dentro de algunos Consejos adscritos al CENACE, a la CRE, a la CFE, entre otras dependencias del Gobierno Federal, esta asociación también es un foro de análisis donde se proponen temas de actualización y se difunde información referente a este subsector energético, propiciando la mejora del marco legal y regulatorio que afecta el desarrollo de esta industria a nivel local, considerando que este es uno de los objetivos principales de esta asociación.

²⁹ Para más información sobre esta asociación, puede consultarse en el siguiente vínculo:
<http://www.asolmex.org/>

ASOLMEX fue fundada en el año 2014, y que, de acuerdo con Viridiana Vázquez, Gerente General de la asociación, de no ser por la Reforma Energética, “esta asociación no hubiera nacido”, pues, previo a la reforma, existían restricciones constitucionales que establecían que la generación, distribución y abastecimiento de energía eléctrica eran tareas exclusivas del Estado a través de la CFE.

No obstante, con todo lo que contrajo la Reforma en diciembre de 2013, explicado en el capítulo anterior, nació el interés de una gran cantidad de empresas de este subsector. La tendencia ante este nuevo mercado y la necesidad de las empresas privadas en conocer más el panorama nacional motivó a que fuera creada ASOLMEX, la cual fungiría como interlocutor entre el sector privado y la administración pública federal, representando los intereses de este sector para participar y aportar, desde su perspectiva, sugerencias para mejorar el marco legal, con la finalidad de beneficiar a todos los involucrados de este subsector energético.

Desde entonces, su crecimiento ha sido significativo, ya que actualmente cuenta con la participación de más de 100 organizaciones dedicadas al desarrollo, proveeduría, consultoría, financiamiento, entre otras actividades, con una gran experiencia, enfocadas al sector solar fotovoltaico (véase anexo IV), de las cuales 26 de ellas son mexicanas (25% aproximadamente), 76 son extranjeras (principalmente europeas), y la mayoría son organizaciones grandes (con más de 250 trabajadores).

A su vez, ASOLMEX cuenta con siete comités de trabajo: 1) Comité de Gobierno; 2) de Generación Distribuida; 3) de Asuntos Regulatorios; 4) de Comunicación Institucional; 5) de Responsabilidad Social Empresarial; 6) el Comité Técnico, y 7) el de Asuntos Internacionales. Debido a que cada una de las empresas asociadas tiene diferente perfil y objetivos, cada año en los comités se reúnen para tratar temas de interés y de actualización para cada caso en particular, incluyendo la participación de las empresas para comunicar algunos resultados y lo que se ha hecho en la industria fotovoltaica durante cierto período de tiempo.

5.3. El caso de Gauss Energía

De las organizaciones asociadas con ASOLMEX, Gauss es la empresa más grande generadora de energía solar en México. Fue fundada en 2004, por lo que llevan consigo una gran experiencia en la identificación, desarrollo, construcción y administración de proyectos de inversión dentro de la industria eléctrica, particularmente de fuentes de energía renovable.

Esta empresa cuenta con un modelo de negocios basado en tres ejes fundamentales, “Gauss Desarrollo”, donde se identifican las oportunidades de inversión, la estructuración comercial basada en la viabilidad de los proyectos y la perspectiva singular para proponer soluciones pragmáticas de acuerdo a los criterios de rentabilidad de los inversionistas asociados. “Gauss Capital”, donde se lleva a cabo la estructuración financiera y de capital en función de la realidad regulatoria e institucional del sector energético mexicano. Y “Gauss Gestión de Activos”, donde se llevan a cabo las actividades de ingeniería, procuración y construcción de los proyectos (EPC), la gestión técnica y operativa, y la administración financiera, fiscal y regulatoria.

Durante su trayectoria, han sido responsables de ocho grandes proyectos enfocados a la promoción de energías renovables.³⁰ El primero es la Planta fotovoltaica “Aura Solar I”, el cual fue el primero a gran escala en territorio nacional. Con una inversión de 100 millones de dólares, se construyó el proyecto de 132 mil módulos fotovoltaicos policristalinos en una superficie de 100 hectáreas, con una capacidad de generación de 39MW, cuya vida útil se estima de 30 años. Este proyecto se encuentra ubicado en La Paz, Baja California Sur, y destina la producción de energía de manera exclusiva a la CFE para su redistribución, abasteciendo al 65% de la población de esta región.

El segundo proyecto solar, llamado “Aura Solar II”, llevó a Gauss a ser una empresa internacional, pues este proyecto está en proceso de construcción en Honduras. Con una inversión total de 120 millones de dólares, se instalarán 200 mil módulos policristalinos en una superficie de 150 hectáreas, estimando una generación eléctrica de 61 MW. Ubicado en Choluteca, al sur de Honduras, proveerá de energía a más de 80 mil familias.

Los otros seis proyectos restantes están enfocados en la energía eólica, la biomasa, la cogeneración eficiente y la construcción de minihidroeléctricas.

³⁰ Para más información sobre estos proyectos, puede consultarse en el sitio web de la empresa en: <http://gauss.com.mx/>

Por otro lado, han colaborado con más de 40 empresas, nacionales y extranjeras, para la construcción y operación de proyectos de energías renovables, como son Grupo Bimbo, Chedraui, Gas Natural Fenosa, Grupo Salinas, PEMEX, Volkswagen, Walmart de México, por mencionar algunas, y están asociados con 16 organizaciones de diferentes países y perfiles, entre las que están BANAMEX, BANCOMEXT, CFE, la Corporación Financiera Internacional (IFC), Nacional Financiera (NAFIN), entre otras.

5.4. El caso de Enlight México

Fundada con el nombre “Enerclima”, se estableció en el año 2011, y es una de las empresas más importantes de México, pues es considerada como la pionera de la Generación Solar Distribuida (GSD), ya que, de acuerdo con Juan Pablo Robert, Director General de Marketing, fueron los primeros en presentar la tecnología de interconexión a la red eléctrica nacional ante la CFE, logrando llamar la atención y el permiso para instalar una de las 15 primeras interconexiones a nivel nacional, específicamente en Naucalpan, Estado de México.

Al principio de sus actividades, en Enerclima estaban enfocados a desarrollar proyectos de GSD con empresas grandes, vendiendo los primeros sistemas a compañías como la antes mexicana Cervecería Modelo y la estadounidense Laboratorios Abbott. Un año después, venden dos grandes proyectos solares térmicos en sistemas penitenciarios en el estado de Sonora y poco más tarde Coca-Cola FEMSA les buscó para el desarrollo de un proyecto industrial en sus instalaciones. Sin embargo, con el tiempo dejaron de atender a los clientes grandes, ya que la venta de proyectos con clientes pequeños era más redituable, y el sector comercial les generó grandes expectativas, al grado que la mayoría de sus ventas se han concentrado en el sector comercial y residencial.

Más tarde, los colaboradores de Enlight empezaron a tener más experiencia en el mercado solar, llevando sus proyectos a las afueras de la Ciudad de México, y en 2014 comenzaron con su primer plan de financiamiento y la garantía de generación de energía para todos sus clientes. Un año más tarde, concretaron el primer levantamiento de capital con ALLVP, una de las empresas más grandes de *venture capital* en América Latina, con lo cual se dieron a la tarea de abrir sus oficinas en la ciudad de Monterrey, Nuevo León, dando inicio a una nueva etapa en su organización con el nombre de Enlight.

En 2016 logran establecer relaciones de financiamiento con Citibanamex, dando como resultado la apertura para atender más ciudades, tales como Cuernavaca, Valle de Bravo, Toluca y Malinalco. Finalmente, en 2017, Enlight concreta el segundo levantamiento de capital con ENGIE, empresa originaria de Francia, considerada actualmente como una de las productoras independientes de energía más grandes del mundo, llevando a Enlight a fundar sus más recientes instalaciones ubicadas en las capitales de Puebla y Cuernavaca.

Algo interesante de esta empresa es que tienen una pirámide de valor, la cual se observa en la figura 5.4.1, en la que se encuentran varios elementos que conforman la forma de organización y de llevar a cabo las operaciones dentro de Enlight. Desde la base hacia la punta, se encuentran la misión y visión de la empresa. La visión no es medible, sin embargo, lo que busca Enlight es revolucionar la forma en que se genera y se consume energía, con el fin de empoderar al consumidor y se promueva el *desarrollo sostenible*. La visión es que en el año 2037 haya un producto de Enlight en todas las casas y comercios de América Latina, aunque esta meta se puede ir modificando conforme cambie el entorno institucional dentro de la industria.

Figura 5.4.1. Pirámide de valor de la empresa Enlight



Fuente: Elaboración propia con información obtenida de la entrevista con el grupo Enlight.

Continúa con la promesa, la cual garantiza que Enlight será veloz con los clientes, que van a ahorrar y que les será otorgado un servicio de primera mano. De ahí se parte a los

valores, que son la forma de pensar y actuar de todos los colaboradores. Estos se basan en seis ejes rectores: 1) Respeto. Se respeta la diversidad, las reglas y las ideas de la empresa, entre otras cosas. 2) Confianza. Ser una empresa de confianza con el cliente. 3) Aprendizaje. Son personas curiosas e inquietas, generando siempre nuevas ideas. 4) La importancia de cuidarse mutuamente. Cuidar los recursos de la empresa y entre los mismos colaboradores. Y, finalmente, 5) siempre tener al cliente en mente en todo lo que se hace dentro de la empresa.

En el siguiente nivel se llega a la posición que juega Enlight. De hecho, hay una frase escrita en una de las paredes de la entrada principal de sus instalaciones que dice “Power to the people”, el cual es un mensaje hacia adentro y hacia afuera de la empresa. Es una forma de vivir, y resume gran parte de la estructura de la pirámide. Esta frase tiene un juego entre lo que significa energía y lo que significa el empoderar a las personas. Entonces, hacia adentro, cada que los colaboradores llegan a realizar sus actividades, leen esta frase y les recuerda que deben estar empoderados para llevar a la acción sus ideas, sin esperar a que los demás les digan qué hacer con lo que tienen a su disposición. Y hacia afuera, todo lo que hacen es con el objetivo de empoderar a las personas, ya que con el servicio actual eléctrico no tienen poder de decisión, de poder generar sus propios beneficios a través de la generación propia de energía. Por lo cual, se trata de empoderar al consumidor, informando lo que puede hacer por su propio mérito con la ayuda de las facultades con que cuenta Enlight. Finalmente, la punta de la pirámide es la marca, que no es otra cosa más que lo que actualmente es como empresa establecida en México.

A lo largo de su trayectoria, han contribuido de manera directa a la reducción de más de 4 mil toneladas de CO₂ emitidas a la atmósfera, han generado más de 6 millones de kWh con recursos solares, y han atendido a clientes en más de 20 ciudades en la República Mexicana. Con Enlight se complementa la parte de los estudios de caso que, como se pudo observar, tienen una larga trayectoria y experiencia en el tema de este subsector energético. Por lo anterior, en el siguiente apartado se encuentra la información que se recopiló de las entrevistas que se realizaron con los informantes clave de cada una de estas organizaciones.

Capítulo VI. Principales resultados

Derivado de las entrevistas que se realizaron a la Lic. Viridiana Vázquez, Gerente General de ASOLMEX; al Ing. David Briseño, Desarrollador de Proyectos de Gauss Energía, y al Lic. Juan Pablo Robert, Director General de Marketing de Enlight México, se estandarizó la información y se estructuró a manera de que las respuestas obtenidas complementaran en buena parte la información que se obtuvo del análisis cualitativo para resolver las preguntas de esta investigación.

5.1 Beneficios

Una de las preguntas más importantes de la que se obtuvieron respuestas interesantes fue acerca de las ventajas u oportunidades que derivaron de la Reforma Energética para que la industria solar fotovoltaica pudiera desarrollarse en México.

Lo más importante a destacar de esta parte empírica es que en las opiniones de los colaboradores de este subsector energético se destaca que el marco institucional derivado de la Reforma en México es considerado el parteaguas para que la industria fotovoltaica pudiera no sólo desarrollarse, sino crecer de manera exponencial en la oferta eléctrica nacional, permitiendo que se redujeran los costos, tanto de la tecnología como de las tarifas en la electricidad. Naturalmente, opina Robert, contrajo una guerra de precios, algo que podría considerarse una barrera, no obstante, ha sido bueno tanto para consumidores como productores. Además, también hay que entender que, con esta competencia, hoy en día la producción de energía solar es más barata que la que se obtiene del carbón, incluso que el petróleo, tal como se observó en la gráfica 4.5.2 del capítulo anterior, ello ha permitido que comience a ganar terreno como una de las fuentes de energía limpia más importantes del planeta, sin embargo, existen restricciones de infraestructura para la distribución, que sumado a la escala actual de producción limitan la rentabilidad.

Asimismo, si bien es cierto que tanto Gauss como Enlight ya estaban establecidas años antes de que se llevara a cabo la Reforma, estas empresas visionaron muchas oportunidades de negocio y crecimiento de la industria solar en México. Por una parte, el equipo ejecutivo de Gauss encontró una ventana de oportunidad en la Reforma para ser una de las empresas base que consolidarían la estructura de ASOLMEX, asociación a la que, de

acuerdo con Vázquez, se le adjudican 37 proyectos ganados en las tres subastas de largo plazo, de los cuales uno ya está en funcionamiento, y el resto van en tiempo y forma en cuanto a su construcción. Por otro lado, se reconoce que estas organizaciones no podían ser establecidas ni mucho menos tener una rentabilidad segura previo a la Reforma, y que, de acuerdo con ASOLMEX, no se habría podido establecer la gran cantidad de filiales de esta industria que, hipotéticamente, en los próximos seis años contribuirán en la reducción de 52 mil toneladas de CO₂, el ahorro de 22 mil millones de litros de agua utilizados en la generación convencional de energía eléctrica, más de 200 mil millones de pesos de inversión (4% de la inversión extranjera directa), la generación de más de 75 mil nuevos empleos, entre otros beneficios de los que gozará la población mexicana (ASOLMEX, 2018).

Derivado de lo anterior, una de las oportunidades que se generaron fue que los residentes del país, interesados en un proyecto de generación solar distribuida (GSD), ya pueden realizar trámites para generar su propia energía y/o se puedan conectar a la red eléctrica nacional. Lo anterior ha permitido una mayor difusión de la tecnología solar por todo el país, ya que hasta hace poco tiempo las personas continuaban pensando que la captación solar era una práctica “ilegal”, de acuerdo a las experiencias con diversos clientes de Enlight.

Aunque ya son cada vez menos los usuarios que tienen una aversión a esta tecnología en comparación con años anteriores, es importante retener que se acercan nuevos modelos de negocio, tales como “Community Solar”. Robert menciona que este modelo funciona de la siguiente manera: “si en un edificio llenas el techo de paneles solares, le puedes permitir a los vecinos conectarte a este techo solar, lo que permite comprar energía limpia y más barata. Además, puedes dividir ese sistema en pequeños consumos”. Incluso, Robert sostiene que estos modelos de negocio se compararán con el sistema de la “criptomoneda”, en la que, si eres dueño de un sistema fotovoltaico que se encuentra a varios kilómetros de distancia, de manera remota y a través de una plataforma digital, podrás monitorear la generación de energía, y te lo tomarán en cuenta por ayudar a generar electricidad en lugares lejanos a la red eléctrica nacional. Asimismo, menciona que “en vez de poner cables de acero en la Sierra Tarahumara, mejor sólo instalamos los paneles solares”, lo que

también beneficiará a la CFE en cuanto al ahorro de infraestructura e inversión en materiales.

Por otro lado, se reconoce a México como un país privilegiado en cuanto a los recursos solares, tal como se describió en el capítulo IV, lo cual continuará generando flujos de inversión hacia el país en un futuro, siempre y cuando se generen o se mejoren las instituciones ya establecidas, así como la tecnología solar en general, con el fin de permitir un mayor aprovechamiento de estas ventajas comparativas. Además, en entrevista con el Secretario General de ASOLMEX, Israel Hurtado, se comentó que es posible que México logre rebasar la meta del 35% de participación de energías renovables en la matriz energética para el año 2024, siempre y cuando continúen estas subastas de largo plazo y, sobre todo, el ritmo en el interés y competitividad que lleve el sector.³¹

5.2 Barreras u obstáculos para el desarrollo de la industria nacional

Además de los beneficios obtenidos por la Reforma, también surgieron algunas barreras que no sólo impiden que continúe creciendo este subsector, sino que genera demasiadas trabas para que más consumidores mexicanos tengan el acceso a los servicios eléctricos por medio de la tecnología solar fotovoltaica.

Tanto en ASOLMEX como Enlight opinan que una de las barreras más fuertes que tienen las empresas de Generación Solar Distribuida (GSD) es la burocracia por parte de la CFE. Es decir, el proceso de licitación para un proyecto en una residencia o negocio local suele ser muy tardado debido a las enormes cantidades de documentos que se requieren para otorgar que se instale la interconexión de los inmuebles a la red nacional (el RFC de los usuarios, la carta poder en su caso, el comprobante de domicilio, la firma del cliente, entre otros). Y es la lentitud de este proceso lo que lleva a que las empresas tengan problemas con sus clientes. De hecho, menciona Robert, estos procesos pueden durar hasta 40 días en concretarse, lo que lleva a pensar a los clientes que “no sirve de nada instalar paneles solares” por el simple hecho de que se vuelve un servicio poco eficaz.

Por otro lado, otra de las barreras encontradas es que la mayoría de las instituciones (licitaciones, permisos, entre otras) no están estandarizadas al momento de la instalación de

³¹ Entrevista disponible en el siguiente vínculo: https://www.onexpo.com.mx/NOTICIAS/entrevista-satisfecha-asolmex-con-resultados-de-3a-subasta-electrica/?ID_NOTICIA=5765

la infraestructura fotovoltaica. Esto es, y desde la perspectiva de Enlight, en cada oficina particular de la CFE, de diferentes regiones del país, piden diferente documentación para la interconexión a la red, lo que también puede explicar la lentitud o rapidez de los proyectos. Aunado a lo anterior, en ASOLMEX opinan que tanto el “Manual de Interconexión” como el “Código de Red” deben unificarse, ya que los criterios del Centro Nacional de Control de Energía (CENACE) y la Comisión Reguladora de Energía (CRE) parece que divergen en lugar de converger hacia un mismo objetivo —de ahí la no estandarización.

Por lo tanto, y desde este punto, para poder reducir estas trabas a las empresas que están desarrollándose en el mercado fotovoltaico es menester mejorar las instituciones existentes para facilitar estos procesos que, más allá de hacer eficiente la consecución de los proyectos, haga que las personas se interesen más en este tipo de tecnologías de las que poco a poco se irán beneficiando de manera directa o indirecta, incluyendo a los ecosistemas y el cuidado de los mismos.

5.3 Barreras a la competencia nacional e internacional

Otro de los resultados tiene que ver con el mercado competitivo. Para ingresar a esta industria, en Enlight consideran que no existen barreras a la competencia, Robert menciona que “por eso existen más de 800 empresas instaladas” actualmente, y como es un mercado totalmente rentable y que cada vez más absorberá importantes flujos de inversión en un futuro cercano, la dificultad no se encuentra en la entrada, sino en mantenerse dentro del mercado, ya que ser parte de esta industria implica retos muy fuertes referentes a la legislación (que se cumplan con todos los estándares para que una empresa pueda continuar en el mercado).

Asimismo, agrega Robert que las empresas deben considerar tener una buena cimentación de sus modelos de negocio, en cuyo caso de las instituciones al interior de su forma organizativa, ya que se trata de un sector que demanda grandes inversiones iniciales y flujos de capital constantes, mencionando además que se necesita personal que esté bien capacitado para poder ofrecer una infraestructura bien sostenida y servicios que beneficien no sólo a los clientes, sino que también contribuyan a la protección ambiental. De hecho, aquellos usuarios que se encuentran más familiarizados con esta tecnología y quieran comprometerse con el medio ambiente, ya están a la espera de un servicio que además les

ofrezca aplicaciones móviles de monitoreo del consumo y producción de su energía limpia de forma remota, entre otras cosas, por lo que, por el momento, en esta industria que apenas está sobresaliendo en México, la única barrera surge y permanece en función de la complejidad del producto o servicio que se esté ofreciendo en el mercado.

Por otro lado, en cuanto a la competencia internacional, en el caso particular de Enlight consideran que este tema no implica una amenaza directa, ya que para diversas empresas no es fácil integrarse a un mercado de un momento a otro y cubrir parte de la oferta local. Lo que normalmente hacen las empresas extranjeras, para no arriesgarse a perder capital e inversión, es comprar empresas ya establecidas que tuvieron una trayectoria importante o considerable para abarcar ese margen disponible. De hecho, está el caso muy mencionado de la empresa Tesla, con SolarCity, que cerraron sus puertas hasta nuevo aviso “porque no supieron hacerla en el mercado mexicano”, mencionó Robert.

Por ello, lo primero que se debe hacer es entender que el mercado eléctrico de cada país funciona de manera diferente, esto es, las instituciones también varían con el país al que las empresas quieran integrarse como proveedoras de este servicio, lo cual se considera una de las barreras más importantes que deben tener en cuenta aquellas empresas que quieran convertirse en multinacionales.

5.4 Madurez del sector y otras barreras

En ASOLMEX consideran que parte de la legislación aún es muy joven, por ello suele castigar los modelos de negocio que recién entran a la industria fotovoltaica, lo que implica que las empresas mexicanas que están emergiendo tienen dificultades a la hora de lograr escalar a la siguiente etapa, por ejemplo, que una empresa dedicada a la GSD pueda asociarse con otras Pymes y convertirse en una empresa de generación de gran escala (GGE). Por lo anterior, puede decirse que, así como hay instituciones que promueven el desarrollo y crecimiento de esta industria, la misma regulación muchas veces pone obstáculos que inhiben el proceso de madurez en las empresas y evitan que se conviertan en campeonas nacionales.

Precisamente, esta es la parte institucional donde ASOLMEX está poniendo más empeño en su trabajo: apoyar aquellas empresas medianas que van un poco detrás de las

grandes y puedan incluirse en la competencia más fácil. Menciona Vázquez, “esto sin afectar al MEM, porque al momento de pasar de los 500 kW [...] entran a la venta de CELs (Certificados de Energía Limpia); ya entran a un mercado abierto, donde los costos de la energía ya no son tarifas, sino que ya se regulan con base al mercado. Entonces, es un brinco enorme”.

Pero hay algo más importante. También consideran que la legislación no permite que las empresas puedan crecer de manera más acelerada. Lo anterior tiene relación con otro factor de esta legislación, ya que no se ha permitido un desarrollo de suficiente proveeduría nacional para que tengan de donde sostener sus actividades más empresas que quieren competir en el MEM; sólo está desarrollada la industria de operación y mantenimiento de las instalaciones, tareas que sólo empresas pequeñas pueden cubrir fácilmente, por lo que no tiene sentido apostarle a crear empresas grandes.

Asimismo, aunado al tema de la proveeduría, también se ha frenado el proceso para llevar a cabo una NOM enfocada exclusivamente para paneles fotovoltaicos, pues aún no está lo suficientemente madura la industria como para generar este tipo de instituciones que, en cierto sentido, podría beneficiar aún más a las empresas locales y a los grandes consumidores en cuanto a la calidad y eficiencia de la tecnología solar disponible.

5.5 Economía circular

En esta parte fue importante preguntarse qué es lo que sucede con la tecnología solar fotovoltaica una vez que deja de ser útil. Lo que sucede con los paneles fotovoltaicos es que tienen una similitud con las baterías que tienen los teléfonos celulares en cuanto a su uso. Robert menciona, los paneles “se van desgastando como una batería. Cada vez tienen menor potencial de generación”. Sin embargo, también explica que la garantía ofrecida por los fabricantes de los paneles fotovoltaicos es que después de que estos cumplen 25 años, en promedio, su capacidad de generación se reduce un 20 por ciento; y pasarán otros años hasta llegar a un punto en el que dejan de ser útiles. Pero el desgaste de la célula como tal no es inmediato, sino un proceso que lleva más allá de la garantía establecida por las empresas que ofrecen estos productos.

Tal como lo sostuvo la primera y segunda Ley de la Termodinámica, los residuos son parte inherente de las actividades económicas, aún si se habla de energías renovables como la solar, y que la materia y energía se desgastan de forma continua, en cuyo caso, se use o no el flujo energético de la célula solar, ésta se va desgastando con el tiempo. Es probable que retorne a un estado en el que tenga una suficiencia eléctrica considerable, sin embargo, nunca más podrá dar el rendimiento que tuvo en su primer uso e instalación. Por otro lado, también fue importante destacar que dentro de este subsector consideran parte de la tercera noción de la biofísica. Aunque la tecnología fotovoltaica se compone en su mayoría de materiales altamente resistentes y de una gran durabilidad, Robert menciona que también están surgiendo programas de acompañamiento para el reciclado de componentes y células solares, sin llegar al punto de que estos residuos –por así decirlo– lleguen a los tiraderos de alta entropía y se acumule más capital hecho por el ser humano. Quizá estas campañas de reciclamiento y reutilización no están bien desarrolladas o con una gran madurez a nivel nacional, lo cual puede detonar un nicho de mercado importante, empero, están cada vez más presentes para reforzar la economía circular de los elementos durables de los paneles fotovoltaicos.

Cabe mencionar que, para trabajos futuros, sería importante saber a qué ritmo o a qué velocidad explotan los recursos minerales para el desarrollo de la célula solar, esto es, del Silicio y demás componentes, con el fin de observar en qué grado se ajusta la industria fotovoltaica a esta tercera noción de la Termodinámica en el sentido de qué tanto se compensa el desgaste de los recursos disponibles.

5.6 Retos a futuro de la industria

Vázquez opina que uno de los retos con el cambio de Gobierno “es que se respete lo que ya está”. Empero, sobre aquellos proyectos que no sean viables o que no se están llevando a cabo de la mejor manera, “si hay huecos en la legislación, que haya algo que permita echarlos para atrás sin dañar tanto el espacio territorial donde se estaba realizando ‘equis’ empresa”. Por el contrario, “si todos vemos que están funcionando, deberían apoyarlos con una legislación más fuerte” o que los beneficie con más apoyos gubernamentales. Este sería el reto que se considera el más importante.

“Obviamente, el sector está asustado de que vayan a echar para atrás la Reforma Energética, los proyectos que ya están firmados, etcétera. Pero, en reuniones que se han tenido con el equipo del Gobierno entrante, comentan que definitivamente irían hacia atrás los proyectos que no funcionen”. Por su parte, Robert menciona, “todos, como asociados, estamos tranquilos porque se van a seguir usando las energías renovables. Habrá que ver si en CFE y en la CRE habrá cambios. Pero, yo creo que son cambios para bien”. Y en el tema de algunas instituciones que ofrece el Estado, “en vez de otorgar un subsidio tan grande a la energía, que le cuesta mucho al país, [...] cambiar a incentivos para la instalación de paneles solares en el país [...] Pero esto es sólo una idea”.

En cuanto a las tarifas de la electricidad, comenta Robert que “habría que ver cómo quedan, para ver qué tan grande puede llegar ser el mercado”. Esto último nos lleva a pensar que, desde la teoría institucionalista, los costos siempre han sido una de las instituciones más importantes de cualquier sector, incluyendo el energético, ya que esto se asemeja a la arena de acción que se discutió en el marco teórico de esta investigación. En función de cómo se lleve a cabo esta arena de acción, donde los involucrados se tengan que poner de acuerdo para establecer ciertos parámetros, el mercado puede llegar a ser muy grande, o quizá todo lo contrario, agregando que los procesos de *gobernanza* también serán un elemento clave para poder establecer los acuerdos entre las esferas públicas y privadas, lo que llevará a cumplir la legitimidad de las instituciones que se establezcan para el beneficio de la población y del mercado eléctrico nacional.

Aunque también es muy importante resaltar que a la fecha existe una trayectoria muy sesgada hacia la protección de los monopolios naturales del Estado, en cuyo caso PEMEX y la CFE, esta arena de acción quizá esté muy orientada a continuar con las actividades tradicionales de producción eléctrica, más que una producción limpia. Lo anterior puede sostenerse por lo que el institucionalismo histórico describe: la dependencia de la trayectoria va a afectar las decisiones que se tomen dentro de cierto período. Es tal como lo describió Robert cuando recién comenzaban sus actividades en el subsector fotovoltaico, hasta los mismos representantes de la CFE, a quienes querían venderle la idea de los paneles fotovoltaicos y el método de interconexión a la red eléctrica nacional, se cuestionaban si realmente este modelo de negocios era legal. La industria eléctrica está tan

apegada a cierto modelo de negocios (de consumo de hidrocarburos), o está tan arraigada la producción rutinaria, que difícilmente puede existir una visión de qué es lo que sigue a expensas de que se está agotando una de las fuentes de riqueza más importante del país, es decir, el petróleo. Esto nos lleva a pensar que también hay un miedo al cambio por parte de estas grandes organizaciones, pese a que ya hay convocatorias que en cierto modo atraen talento e inversiones dentro del sector que promueven su diversificación, lo cual explica por qué estos monopolios naturales están más interesados en comunicar por todos los medios que se descubrieron nuevas reservas de crudo en el Golfo de México y no a comunicar que las energías limpias están ganando más margen de mercado y que se está contribuyendo a la reducción de grandes emisiones de CO₂. Aún se desconoce si hay una fuerte visión a futuro en este sentido, porque está en auge la arena de acción por el próximo cambio en la administración del país, pero lo que sí se conoce es que el desarrollo tecnológico está apuntando hacia la gestión de energías limpias dentro de cualquier sector productivo.

Por último, y no menos importante, otro de los retos se enfoca en la educación. Menciona Vázquez, “falta adecuar todas las carreras en las universidades para que tengamos gente capacitada, con el fin de que no tengamos que importar el conocimiento o la mano de obra”. Aunque no es un proceso que se lleve a cabo de la noche a la mañana, sino que parece un tema en el que se atienden todos los niveles de la estructura institucional, tal como lo planteó Williamson, será importante no sólo adecuar las carreras a estos sectores productivos, sino también adecuar las instituciones a la realidad cambiante. Es decir, la próxima ola institucional, y quienes estén al frente de ella, debe construirse a partir de lo que ya está hecho y de lo que está por venir, esto con el fin de desarrollar y atender en paralelo las nuevas demandas populares (en este caso de la educación y las nuevas disciplinas), pero para lograr esto, el Estado debe tener la visión de hacia dónde tienen que orientar la producción nacional, o más importante, hacia dónde hay que dirigirse para encontrar el verdadero *desarrollo sostenible*.

Conclusiones

Es importante mencionar que a nivel planetario carecemos de una fuente de energía que disponga de más ventajas que desventajas, que no impacte de algún modo en los ecosistemas o que no genere residuos de alguna forma, tal como lo sostiene la primera Ley de la Termodinámica a la que todo proceso productivo está sujeto.

En el caso de la energía solar en México, en su mayoría han predominado barreras institucionales que han sido muy importantes para destacar la poca madurez de este sector, como lo mencionan lo entrevistados, que a su vez puede tratarse desde los cuatro niveles institucionales del enfoque de Williamson.

En el primer nivel institucional es muy importante recalcar que gracias a esta Reforma pudo ser codificada y comunicada más información referente al tema medioambiental y el uso de las energías renovables, de las cuales se conocía muy poco o casi nada durante décadas. Si bien, como lo comentan los entrevistados, aún está presente esa aversión a este tipo de tecnología (solar), es debido a la continua existencia de instituciones informales, ya que el conocimiento en general sobre la energía solar, sus usos y aprovechamientos, así como sus beneficios, sólo era información codificada por y para la comunidad científica, específicamente para la industria aeroespacial. Ahora que cada vez más personas civiles, no sólo científicas, se interesan más en los temas de la tecnología solar y tienen mayor acceso a la misma, dado que constantemente aparecen casos de éxito sobre los dispositivos y sus aplicaciones, esta aversión desaparece en la medida en que dentro de una sociedad existe más información codificada o más formalizada.

Williamson asumía que en este nivel las instituciones cambian de manera muy lenta (generacional), porque a pesar de que el uso de la energía solar data desde finales de la década de los años treinta, tuvo que pasar casi una generación para que este conocimiento se formalizara, se estandarizara y se comercializara en territorio nacional. Más allá de las presiones sobre distintos indicadores a nivel internacional (emisiones de CO₂, temperatura global, precios del petróleo, etcétera) fue esta disminución a su aversión por parte del Gobierno Federal lo que también hizo que se incluyera esta fuente a la matriz energética de México y se distinguiera como un nuevo modelo de negocio, tal como sucedió con Julian

Willenbrock y el equipo de Enlight México, quienes tuvieron que demostrar de manera muy formal ante la CFE los usos y beneficios de la energía solar fotovoltaica y de los dispositivos de interconexión a la red eléctrica, lo cual parecía, desde su perspectiva, algo prohibido o diferente a lo habitual.

A su vez, parte de esta última discusión también se asocia dentro del segundo nivel institucional, en el que lo más importante es que el contexto institucional debe ser adaptado al contexto social para que las instituciones se vuelvan no sólo formales, sino también legítimas, tal como ha pasado con las Subastas Eléctricas y la Emisión de Certificados de Energías Limpias que ha celebrado la CRE con cientos de organizaciones, nacionales y extranjeras. No obstante, también puede darse el caso que los mismos niveles de Gobierno incumplan con esta legitimación, es decir, que por falta de información o por el poco interés de la sociedad se desatienda la meta del 35% de generación eléctrica por medio de energías limpias para el año 2024, ya que estos escenarios realizados por el Gobierno Federal, así como las instituciones que proclamó con la Reforma, no tienen ciertamente una estructura contractual que garantice este objetivo, ya que sólo se trabaja con estimaciones y escenarios que se rigen más por estimaciones cualitativas a nivel institucional.

Por otro lado, Williamson menciona que en este nivel se puede notar un cambio en las instituciones entre los diez y cien años. En el caso de México, se puede asumir que, contando a partir de que la tecnología solar fue adaptada por la comunidad científica mexicana en la década de los cuarenta, pasaron poco más de 60 años para que se formalizara el tema de la *sostenibilidad* y el uso de las fuentes de energía limpia en el Plan Nacional de Desarrollo. Esto produciría cambios en la legislación, comenzando con la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, lo cual puede verse como el cambio en las instituciones políticas, y derivaría en un cambio tanto en las instituciones jurídicas (Leyes secundarias de la Reforma Energética) como en las económicas (matríz energética de México). En este nivel sólo queda pendiente el cambio y comportamiento de las instituciones sociales (ética, rutinas, conciencia social, etcétera), lo cual se verá reflejado en las acciones conjuntas de la sociedad y en la disminución a la ya mencionada aversión tecnológica a partir de esta reforma.

En el tercer nivel es evidente que entran todas aquellas organizaciones que participaron no sólo en la creación de la Reforma y sus Leyes Secundarias (el Estado, la SENER, incluyendo los niveles de gobierno y los Poderes de la Unión, principalmente), sino también aquellas que se integraron al sector energético para gestionar el SEN (la CRE) y dirigir el MEM (el CENACE). Estas organizaciones establecieron las reglas y formas contractuales para que se crearan de manera formal las relaciones entre oferentes (empresarios públicos y privados) y demandantes (sociedad civil en general), tal como se establecen en el cuarto nivel institucional. Aunque en este tercer nivel los efectos sobre las instituciones son constantes, el cambio más notorio sucederá con la llegada de la próxima Administración Federal en este año 2018.

Ya en el cuarto nivel, además de las relaciones contractuales, también se encuentran los programas de apoyo hacia el emprendimiento, convocatorias estudiantiles y demás herramientas que pone a disposición el Estado a través de las organizaciones como el CONACYT, la SENER, la CFE, las universidades públicas y privadas, las mismas empresas, entre otras, en las que constantemente se celebran instituciones de índole política, económica y científica.

Además de lo anterior, es importante destacar el papel que jugó el Estado para generar las instituciones suficientes con las que este sector pudo darse a conocer o proliferar ante un escenario en el que por mucho tiempo han dominado las fuentes de energía convencionales en gran parte del territorio nacional, con lo que se cumple la idea central del Institucionalismo Histórico acerca de las capacidades que tiene este órgano central para generar las instituciones necesarias que, de alguna manera, resolvieron una parte del problema que involucra el paradigma energético mexicano. Este problema ya se mencionó anteriormente, que fue la aversión a la tecnología solar, en este caso. Asimismo, fue muy importante el papel que jugó la Reforma Energética como institución motriz de este cambio de paradigma, principalmente en las zonas del país como el Noroeste donde las condiciones ambientales son esenciales para establecer proyectos de alta productividad y generación eléctrica con base en recursos solares.

Aunque el institucionalismo histórico se enfoca exclusivamente a los cambios en la política y la economía durante un plazo de tiempo extenso, no está de más mencionar que

esta escuela de pensamiento siempre estuvo presente en los estudios sobre el cambio climático desde finales del siglo XIX. Si bien es cierto que México al no ser un país altamente industrializado, el tema no había sido muy comentado o considerado, no porque no sea un país con un alto índice de emisiones de carbono, sino que en gran parte no sucedieron estos procesos de *gobernanza* como en los países más industrializados. Al no presentar una carencia de recursos energéticos o que las reservas de crudo se encontraran en condiciones críticas, continuó presente en las decisiones económicas y políticas la lógica de explotar hasta la última gota de petróleo existente en territorio nacional.

Quizá esto último responda a una pregunta que surgió en la discusión de este trabajo, y es el por qué las energías renovables siguen teniendo una presencia muy pobre en la matriz energética nacional. Complementando la idea anterior, se puede agregar que la situación de México no presentó señales de un problema de información, como lo sostiene el neoinstitucionalismo económico, puesto que se ha dejado claro que el conocimiento sobre el caso particular de la energía solar se ha venido generando (y mejorando) desde hace más de 60 años, sino que se traduce más bien en la falta de interés de los tomadores de decisiones de las altas esferas políticas el que México no se pueda desarrollar o crecer en un mercado competitivo a nivel internacional como lo es este subsector.

Pese a que el escenario eléctrico se estima muy complicado en México con el próximo cambio de la Administración Federal, es evidente que debe haber un mayor interés por parte de la esfera gubernamental por promover, mantener y aprovechar lo que ya se tiene, y continuar con la diversificación de las fuentes de energía. Pero sin las correctas instituciones, tal como lo sostienen los (neo)institucionalistas, es difícil desarrollar un mercado emergente que está siendo castigado más de lo que está creciendo, como ya se dejó cuenta en el apartado anterior sobre los resultados y la poca madurez de las mismas instituciones.

Si bien es cierto que la Reforma Energética fue un intento por orientar la política energética hacia un modelo de consumo eléctrico más limpio, lo que aún se queda en espera es que realmente estas instituciones establecidas se cumplan y se obedezcan en el corto y mediano plazo, para tener certeza de que en el largo plazo México pueda destacar como aquellos países desarrollados (ya se mencionó el caso de Alemania) en el tema

medioambiental, partiendo desde luego del sector energético. Aunque sea muy extensa la ola de instituciones, si el Estado no pone el ejemplo como órgano principal y regulador de las mismas, puesto que esta Reforma evidencia un notable sesgo hacia la inversión en exploración y explotación de hidrocarburos, y no hacia la adopción y desarrollo de tecnologías que compensen el uso y la adopción de energías renovables como ya se dijo anteriormente. No obstante, pese a lo anterior, se puede afirmar que esta reforma fue un cambio para bien desde la perspectiva del fomento y consumo de las energías renovables. Además del aprovechamiento que representó para muchas empresas los programas y apoyos que otorgó el Estado, la hipótesis central de este trabajo se comprobó no sólo con los datos estadísticos que se proporcionaron en esta investigación, sino también gracias a la información recabada con la experiencia de los estudios de caso aquí presentados.

Referencias bibliográficas

- Asociación Mexicana de Energía Solar (ASOLMEX, 2018), *Iniciativa de Generación Solar Distribuida*, ASOLMEX, junio. Disponible en el sitio Web: <http://www.asolmex.org/GSD/Iniciativa-GSD.pdf>
- Bedoya, C. (2010), “Amartya Sen y el desarrollo humano”, en *Revista Nacional de Investigación – Memorias*, 8(13), enero-junio, Colombia, pp. 277-288.
- Caballero, M. et al (2007), “Efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático: una perspectiva desde las Ciencias de la Tierra”, en *Revista Digital Universitaria*, UNAM, Vol. 8, No. 10, pp. 1-12.
- Carrillo, G. (2006), *Ecología Industrial y Sustentabilidad. El Proyecto Sinergia de Subproductos en Altamira-Tampico*, Tesis de Doctorado, Universitat de Barcelona, Barcelona.
- Commons, P. (1924), *The Legal Foundations of Capitalism*, MacMillan, New York.
- Daly, H. (1990), “Towards some operational principles of sustainable development”, en *Ecological Economics*, Vol. 2, Number 1, pp. 713-719.
- Fraas, L. (2014), *Low-cost Solar Electric Power*, Springer, Switzerland.
- García, S. (2012), “Principios de funcionamiento de las centrales solares termoeléctricas”, en *Guía técnica de la Energía Solar Termoeléctrica*, Gráficas Arias Montano, Madrid, pp. 13-48. Disponible en el sitio Web: <https://www.fenercom.com/>
- Georgescu-Roegen, N. (1994), “¿Qué puede enseñar a los economistas la termodinámica y la biología?”, en Aguilera F. y V. Alcántara (Comp.), *De la economía ambiental a la economía ecológica*, ICARIA / FUHEM, Barcelona, pp. 188-198.
- (1996), *La Ley de la Entropía y el Proceso Económico*, Fundación Argentaria – Visor Distribuciones, Madrid.
- Global Energy Network Institute (GENI, 2011), *Review and Comparison of Different Solar Energy Technologies*. Disponible en el sitio Web: <https://www.geni.org/globalenergy/research/review-and-comparison-of-solar-technologies/Review-and-Comparison-of-Different-Solar-Technologies.pdf>
- González, L. (2016), *Manual técnico de medioambiente y desarrollo sustentable*, Cultural, S.A., Polígono Industrial Arroyomolinos, Madrid.
- Harris, D. (2010), “Charles David Keeling and the story of Atmospheric CO₂ Measurements”, en *Analytical Chemistry Feature*, Vol. 82, No. 19, October 1. Disponible en el sitio Web: <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/ac1001492>.

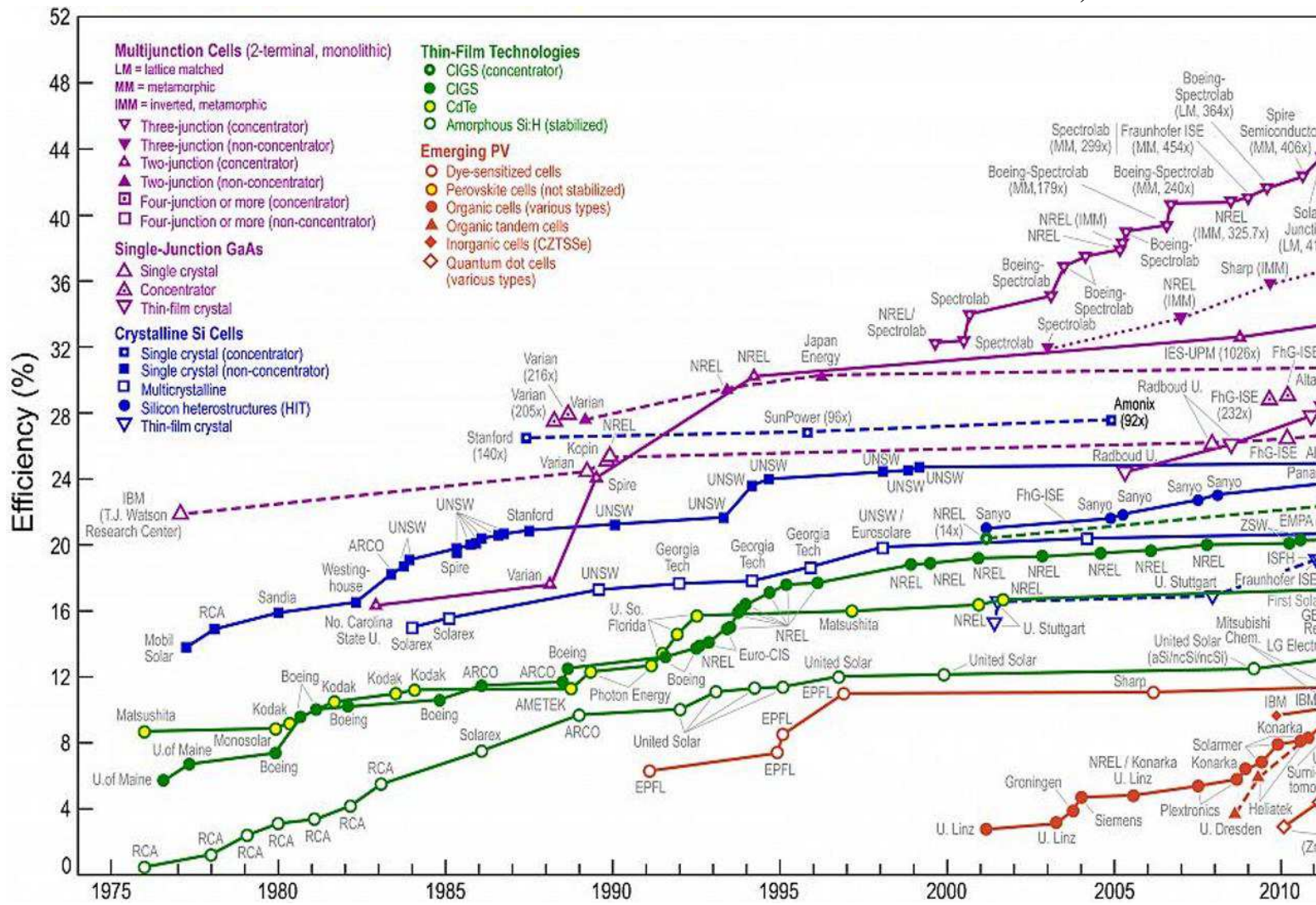
- International Renewable Energy Agency (IRENA, 2015), *Renewable Power Costs in 2014*, IRENA, Abu Dahbi.
- International Renewable Energy Agency (IRENA, 2018), *Renewable Power Costs in 2017*, IRENA, Abu Dahbi.
- Kazstelan, A. (2017), “Green growth, green economy and sustainable development: terminological and relational discourse”, en *Prague Economic Papers*, 26(4), 487–499.
- Lazard’s LCOE (2014), *Lazard’s Levelized Cost of Energy Analysis—Version 9.0*, September, NY. Disponible en el sitio Web: <https://www.lazard.com/>
- Lazard’s LCOE (2017), *Lazard’s Levelized Cost of Energy Analysis—Version 11.0*, November, NY. Disponible en el sitio Web: <https://www.lazard.com/>
- Lesourne, J. et al (2006), *Evolutionary Microeconomics*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany.
- Martínez, J. y J. Roca (2013), *Economía ecológica y política ambiental*, Fondo de Cultura Económica, México.
- Meadows, D. et al (1993), *The Limits to Growth*, Potomac Associates, New American Library: Washington, D.C., USA.
- Naredo, J. (1987), *La economía en evolución*, Siglo XXI, Madrid.
- (1992), “Fundamentos de Economía Ecológica”, en Aguilera, F. y V. Alcántara (Comp.) (1994), *De la Economía Ambiental a la Economía Ecológica*, ICARIA, Barcelona.
- North, D. (1982), *Structure and Change in Economic History*, W.W. Norton and Company, New York.
- (1990), *Instituciones, cambio institucional y desempeño económico*, Cambridge University Press.
- (2001), ———, FCE, México.
- (2008), “Institutions and the Performance of Economies Over Time”, en Ménard, C. y M. Shirley (Eds.), *Handbook of New Institutional Economics*, Springer, Berlin, pp. 21-30.
- North, D. y R. P. Thomas, (1973), *The Rise of the Western World: A New Economic History*, Cambridge University Press, New York.

- Oriol, J. (2007), “Revisión crítica de los aportes del institucionalismo a la teoría y la práctica del desarrollo”, en *Revista de Economía Institucional*, 9(16), primer semestre, Universidad Externado de Colombia, pp. 121-148.
- Ostrom, E. (2015), *Comprender la diversidad institucional*, Fondo de Cultura Económica / UAM, México.
- Pearce, D. and G. Atkinson (1992), “Are national economies sustainable? – Measuring sustainable development”, en *CSERGE GEC Working paper*, 92-11, University College Londres, p. 18.
- PECC (2009), *Programa Especial de Cambio Climático 2009-2012*, México: Poder Ejecutivo Federal.
- PNUMA (2011), *Hacia una economía verde: Guía para el desarrollo sostenible y la erradicación de la pobreza*, Naciones Unidas, Francia.
- Rincón, E. y M. Aranda (2006), *30 años de energía solar en México. XXX aniversario de la Asociación Nacional de Energía Solar*, ANES, octubre, México.
- Rutherford, M. (2001), “Institutional Economics: Then and Now”, en *The Journal of Economic Perspectives*, Vol. 15, No. 3, Summer, pp. 173-194.
- Sarukhán, J. et al (2009), *Capital natural de México. Síntesis: conocimiento actual, evaluación y perspectivas de sustentabilidad*, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- SEMARNAT (2015), *Guía de Programas de Fomento a la Generación de Energía con Recursos Renovables*, Subsecretaría de Fomento y Normatividad Ambiental / Dirección General de Energía y Actividades Extractivas, 3a. Edición, México.
- Sen, A. (1993), “Capability and Well-being”, en Nussbaum, M. and A. Sen (Eds.), *The Quality of Life*, Oxford Scholarship Online, November, US, pp. 30-53.
- Schmutzenhofer, H. (1994), “The IUFRO Position on Sustainable Management of Tropical Forest”, en Dykstra, D. and R. Heinrich (Eds.), *Forest codes of practice. Contributing to environmentally sound forest operations*, FAO/IUFRO Meeting of Experts on Forest Practices, December, Feldafing, Germany, pp. 23-31.
- Simon, H. (1957), *El comportamiento administrativo: estudio de los procesos decisivos en la Organización administrativa*, Aguilar, Buenos Aires.
- Turner, R. (1993), “Sustainability: principles and practice”, en Turner, R. (ed.), *Sustainable environmental economics and management: principles and practice*, Belhaven Press, Londres, pp. 3-36.

- Uhthoff, L. M. (2010), “La industria del petróleo en México, 1911-1938: del auge exportador al abastecimiento del mercado interno. Una aproximación a su estudio”, en *América Latina en la Historia Económica*, núm. 33, enero-junio, pp. 5-30.
- UNEP Centre and BNEF (2018), *Global Trends in Renewable Energy Investment 2018*, Frankfurt School of Finance & Management, Germany. Disponible en el sitio Web: <http://fs-unep-centre.org/sites/default/files/publications/gtr2018v2.pdf>
- UNFCCC (1992), *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*, UN, Madrid.
- (2007), ———, Ministerio de Medio Ambiente Español, España.
- Vargas, J. (2008), “Perspectivas del Institucionalismo y Neoinstitucionalismo”, en *Ciencia Administrativa*, Ensayos, Número 1, México, pp. 47-58.
- Veblen, T. (1909), “The Limitations of Marginal Utility”, en *Journal of Political Economy*, Vol. 17.
- Wiersum, K. (1995), “200 years of sustainability in forestry: Lessons from history”, en *Environmental Management*, 19(3), Springer-Verlag, New York, pp. 321-329.
- Williamson, O. (1985), *The economic institutions of capitalism: firms, markets, relational contracting*, The Free Press, New York.
- (1993), “Opportunism and its Critics”, en *Managerial and Decision Economics*, Vol. 14, pp. 97-107.
- (2000), “The New Institutional Economics: Taking Stock, Looking Ahead”, en *Journal of Economic Literature*, Vol. 38, pp. 595-613.
- (2008), “Transaction Cost Economics”, en Ménard, C. y M. Shirley (Eds.), *Handbook of New Institutional Economics*, Springer, Germany, pp. 41-65.
- World Commision on Environment and Development (WCED) (1987), *Our Common Future*, Oxford University Press, New York.
- World Nuclear Association (2017), “The Economics of Nuclear Power”, WNA. Disponible en el sitio Web: <http://www.world-nuclear.org/information-library/economic-aspects/economics-of-nuclear-power.aspx>
- Yin, R. (1994), *Case Study Research. Design and Methods*, SAGE Publications, London.

Anexos

I. Evolución en la eficiencia de las células solares, 1976-2018



II. Descripción de Tecnologías Solares

Paneles Fotovoltaicos

En algunos manuales de ingeniería solar, puede encontrarse que las células solares constan de dos finas capas de materiales semiconductores, en las cuales es utilizado en su mayor parte el silicio, mineral que aumenta la eficiencia de los paneles fotovoltaicos dependiendo de su estado natural. Este elemento es el segundo más abundante en la Tierra, no obstante, para que pueda producirse el efecto fotovoltaico, que es lo que convierte la radiación solar en electricidad, el silicio tiene que ser lo más puro posible.³²

Una de estas dos capas, denominada de “tipo n”, está dopada de un elemento que la vuelve de carga negativa (generalmente es utilizado Fosforo para esta tarea), lo que concentra una cantidad potencialmente alta de electrones. La segunda capa, denominada de “tipo p”, por el contrario, está dopada de un elemento que la convierte en carga positiva (usualmente es utilizado Boro para generar un déficit de electrones). Al unir ambas capas (unión n-p), esta célula tiene el mismo mecanismo que las pilas convencionales, con un lado positivo y el otro negativo, tal como se muestra en la figura II.1.

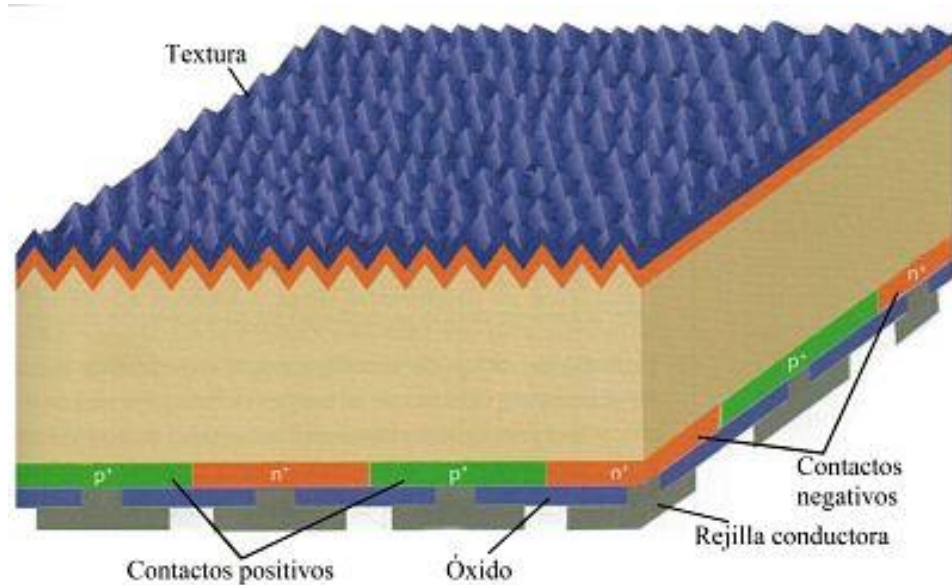
La luz solar llega a la Tierra en forma de fotones, los cuales, dependiendo de su forma y longitud de onda, tienen diferentes capacidades de energía, y al tener contacto con las células, una parte de esa energía es reflejada hacia la atmósfera, otra es absorbida propiamente por la célula y una tercera parte puede incluso atravesar la misma célula, empero, es la energía absorbida la que produce en sí la electricidad. Al momento que los fotones son absorbidos, los electrones son impulsados a un nivel más alto de energía que el inicial, y son capaces salirse de su posición normal en el átomo y comenzar a circular por el material semiconductor, formando parte del circuito eléctrico.

Una vez que este átomo es liberado por una sobreexcitación, atrás de él se queda un espacio vacío denominado “hueco” de carga eléctrica positiva. Este espacio, poco después,

³² Esto puede explicar, en cierto modo, el encarecimiento de esta tecnología y el proceso lento de producción de las células solares, ya que no es sencillo encontrar este elemento en estado virgen. Además, un dato importante a considerar es que no se encuentra, como lo dice el manual aquí citado, en abundancia en todos los países, incluido México.

llega ser ocupado por otro electrón, ya que éstos se moverán por ambas capas de la célula fotovoltaica y que a su paso dejarán espacios vacíos para ocupar otros simultáneamente.

Figura II.1. Esquema de una célula fotovoltaica



Nota: Se agregaron detalles de información.

Fuente: Extraída de González (op. cit.: 349).

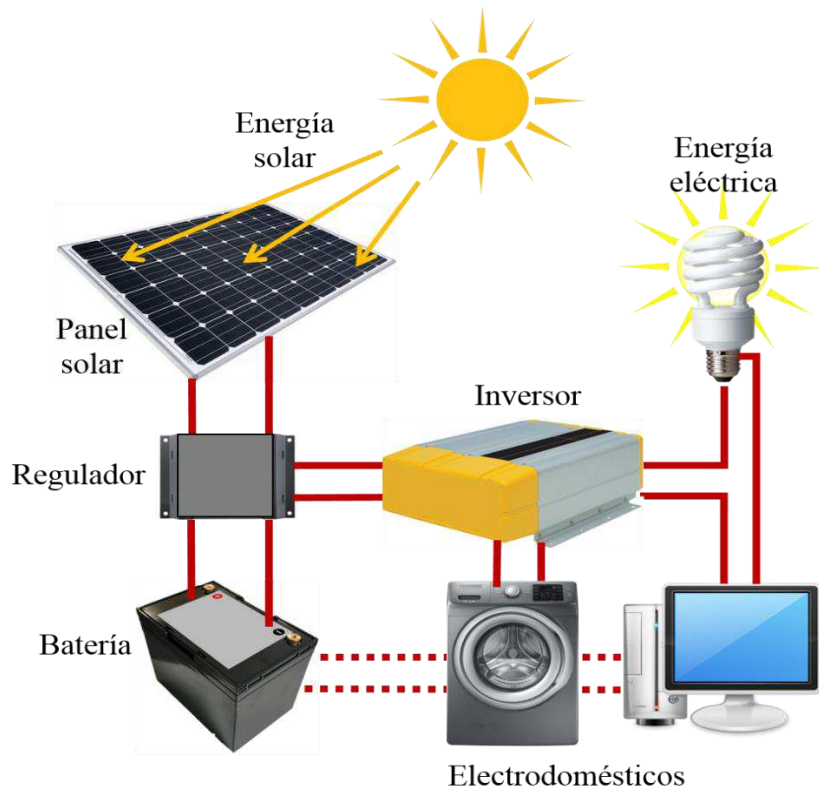
Para que podamos aprovechar la energía que está siendo generada por la célula fotovoltaica, es necesario y muy importante agregarle un contacto eléctrico, generalmente una rejilla metálica de cualquier material que se conozca su desempeño como excelente conductor de la electricidad, esto con el fin de promover el libre movimiento de los electrones hacia el exterior del material semiconductor y transferirlos a un acumulador o batería externa donde depositarán su carga eléctrica.

Por último, cada célula solar deberá estar cubierta de una capa anti reflectante, esto con la finalidad de captar una mayor cantidad de fotones. Asimismo, es menester protegerla de posibles daños y efectos nocivos de la intemperie, para ello se cubre con una lámina plástica transparente de elevada resistencia mecánica y eléctrica, ya que las células solares son demasiado vulnerables por su delgadez y fragilidad.

Además de sólo contar con una célula solar, son necesarios otros componentes para que la electricidad que es producida por ésta pueda llegar a su uso final. Así pues, como se

muestra en la figura II.2, la tecnología fotovoltaica consta de: 1) Módulo o panel solar. Conjunto de paneles fotovoltaicos que están constituidos por células solares, las cuales producirán corriente continua de baja tensión; 2) regulador de carga. Dispositivo que regulará la corriente que se desplaza de la célula solar a la batería, y de la batería a los aparatos electrónicos que recibirán la electricidad, con la finalidad de evitar una sobrecarga o descarga eléctricas; 3) acumulador o batería. Se encargará de almacenar la energía producida por el módulo solar, para después distribuirla a la red eléctrica donde se encuentre conectada; 4) inversor o convertidor de corriente. Este ayudará a convertir la corriente continua (CC) en corriente alterna (CA). Será muy importante este dispositivo para poder alimentar todos los aparatos electrónicos que trabajan con corriente alterna de 110 V o 120 V.

Figura II.2. Esquema de producción de energía solar fotovoltaica



Fuente: Elaboración propia con base en González (op. cit.).

Evidentemente, este sólo es un esquema sencillo y resumido sobre cómo es creada la energía eléctrica basada en los recursos solares fotovoltaicos, empero, los circuitos, la

capacidad y la eficiencia de cada uno de los dispositivos que se encuentran en el esquema puede variar según el proyecto o la aplicación que se le esté dando al módulo fotovoltaico.³³

Central Termosolar

Las centrales termoeléctricas pueden variar en cuanto a su infraestructura. De hecho, existen nueve posibles configuraciones (García, 2012), sin embargo, el más conocido y utilizado es el método de receptor central (véase figura II.3). Estos proyectos generalmente se instalan en superficies amplias, ya que necesitan la instalación de un “campo de helióstatos” (1), esto es, un campo lleno de grandes espejos³⁴, generalmente planos, sostenidos por una estructura metálica, los cuales reflejan la radiación solar y la concentran en un pequeño punto receptor llamado “caldera” (2). Este punto se encuentra instalado, habitualmente, en el punto más alto de una torre (3), por la que estos proyectos generalmente son llamados “Centrales solares de torre central”. Dentro de la caldera se concentra un flujo de agua, combinado con sales fundidas (nitrato de potasio y nitrato de sodio), sodio líquido, aire, entre otros elementos que ayudarán a concentrar la energía solar en la caldera. Después, el agua concentrada será transportada por un circuito primario hasta llegar a un “generador de vapor” (5), donde hervirá a muy altas temperaturas (entre los 300 y 1000 grados Celsius, según la tecnología a disposición de la obra y las condiciones meteorológicas). Una vez aquí, el agua se convertirá en vapor, y pasará a un circuito secundario donde realizará la tarea de mover un “turbo-alternador” (6), el cual a través de un mecanismo rotatorio generará la energía eléctrica que será transportada por el tendido eléctrico hacia la red eléctrica local (7), por medio de transformadores. El fluido es posteriormente licuado en un “aero-condensador” (8) para repetir nuevamente el ciclo (ibíd.; González, op. cit.).

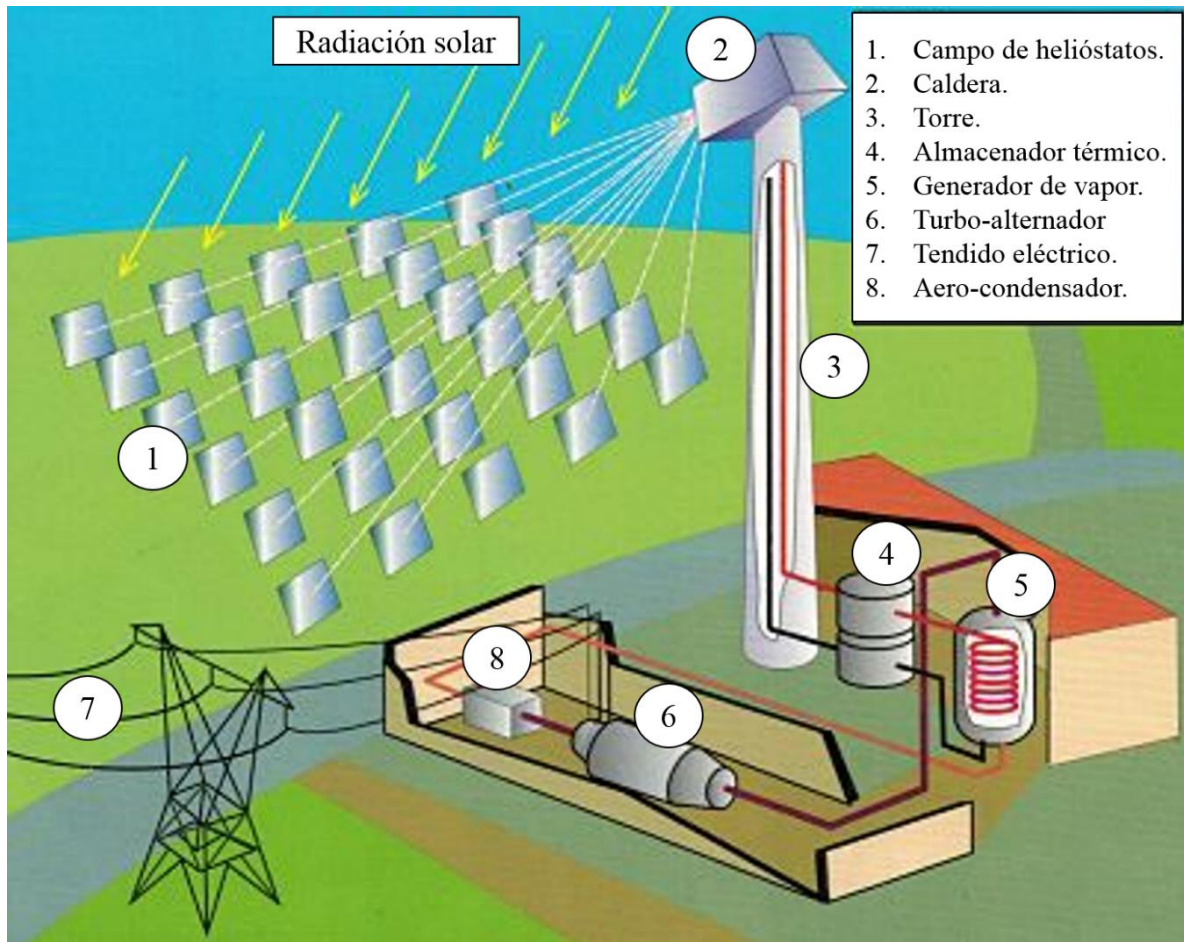
Dado que la producción de una central termosolar tiene una alta dependencia por las horas de insolación, para no interrumpir la producción y lograr su estabilización, algunos

³³ En algunos proyectos, generalmente en teléfonos públicos o centros de carga de dispositivos móviles, puede no ser necesaria la instalación de una batería o acumulador, lo que reduce el costo total de la obra, ya que las baterías son uno de los elementos más costosos en el mercado solar fotovoltaico.

³⁴ Las dimensiones de los espejos van a variar según los materiales que se implementen para su diseño, así como la dimensión y ángulo del espectro de luz que se desea obtener.

proyectos suelen instalar sistemas de “almacenamiento térmico” (4), o sistemas de apoyo que intervienen en el circuito de calentamiento, con el fin de anticiparse a condiciones meteorológica atípicas o inesperadas (García, op. cit.).

Figura III.3. Central termoelectrica con receptor solar



Nota: Se editó la imagen para una mejor resolución y se cambiaron algunos detalles de información.

Fuente: Extraída de González (op. cit.: 353).

III. Guía de entrevistas para el trabajo de campo.

Barreras y oportunidades para el desarrollo tecnológico del subsector solar en México

Sección 1. Antecedentes y trayectoria de la empresa.

1. ¿Por qué razones decidieron apostarles a las energías renovables?
2. ¿Qué barreras y/u oportunidades se presentaron con la Reforma Energética durante el crecimiento de su organización y en el desarrollo tecnológico de sus productos o servicios?
3. En cuanto a su elección energética, ¿por qué decidieron entrar a competir en el subsector de la energía solar y no en otro(s) subsector(es)?

Sección 2. Estructura organizacional y detalles de la empresa.

4. ¿Cómo está conformado su organigrama?

En el caso de Enlight: ¿Qué ventajas o desventajas les genera esta forma de organización?

5. En el caso de Enlight: ¿Cuál es la misión y visión?

Sección 3. Financiamiento interior y exterior de la empresa.

6. ¿Cómo financian sus operaciones?

En el caso de Gauss y Enlight: ¿Cuál fue su estrategia para conseguir los recursos financieros y económicos en un sector que, técnicamente, no se tenía idea alguna que estaba naciendo en México?

Sección 4. Recursos humanos.

7. Aproximadamente, con cuántos colaboradores cuenta la organización “X” en sus instalaciones.
8. ¿Existe alguna organización afiliada a su organización que ofrezca cursos o programas de capacitación para elevar la productividad y extender los conocimientos de sus colaboradores en cualquiera de las áreas con las que cuentan?

Sección 5. Propiedad intelectual y transferencia tecnológica.

9. En el caso de Gauss y Enlight: De los productos y servicios que ofrecen, ¿tienen algo registrado bajo propiedad intelectual con el nombre de la empresa o de algún colaborador

afiliado? De ser el caso, ¿qué perfil tiene el colaborador o colaboradores quienes patentaron el producto o el diseño?

a) Históricamente, ¿cuántas patentes han registrado a lo largo de su trayectoria?

10. En el caso de Gauss y Enlight: ¿Cómo fue que se hicieron del conocimiento de la tecnología solar para después ofrecerla en México?
11. En el caso de Gauss y Enlight: Al inicio de sus actividades, ¿tuvieron algunas dificultades para encontrar el personal adecuado que se familiarizara con esta tecnología?
12. En el caso de Gauss y Enlight: Desde su experiencia, ¿han encontrado barreras u obstáculos para integrar o intercambiar conocimientos con otras organizaciones, centros de investigación o empresas, nacionales y extranjeras, que también se desempeñan en este subsector de la energía solar?

Sección 6. Comercio nacional e internacional.

13. En el caso de Gauss y Enlight: ¿Quiénes son sus proveedores de materiales directos?, y ¿qué porcentaje de los proveedores son nacionales y qué porcentaje internacionales?
14. En el caso de Gauss: ¿Han tenido dificultades con las barreras arancelarias para que sus productos lleguen a diversas partes del mundo? Por ejemplo, ¿los aranceles que ha establecido el gobierno de Estados Unidos en las últimas semanas, les afectan en sus compras de insumos o en sus ventas?

Sección 7. Percepción de la empresa en temas de economía circular, competencia internacional, de la Reforma Energética y de la próxima administración del país.

15. En el caso de Gauss y Enlight: Referente a sus materiales y celdas fotovoltaicas, que tienen una garantía de 25 años de desempeño en promedio, qué pasa cuando dejan de funcionar los paneles fotovoltaicos. Más allá de reemplazarlos por unos nuevos, qué hacen con los residuos —por así decirlo—. ¿Vuelven a restaurarlos y a colocarlos nuevamente en el mercado? ¿Cuál es el futuro de éstos una vez que dejan de ser útiles?
16. Los escenarios prospectivos del sector (realizados por la IRENA y la SENER, principalmente) estiman que la capacidad de la Generación Distribuida (GD) crecerá, en promedio, 7 mil MW en los próximos 12 años. Esto significa que aumentarán más los usuarios independientes, tanto residenciales como MiPyMEs, que generen su propia

energía, y que en términos cuantitativos son cerca del 40 por ciento del consumo eléctrico nacional. Lo anterior, ¿afectará los márgenes de ganancia del subsector solar?

17. En el caso de Enlight: Recientemente, en mayo de este año, salió una nota periodística donde Álvaro García-Maltrás, director para América Latina y el Caribe de la empresa china TrinaSolar, menciona que América Latina está en la mira como potencial mercado de paneles solares, y que empresas estadounidenses querrán convertirse en un importante proveedor de esta región. ¿Cuáles son las principales estrategias y las ventajas competitivas con las que cuenta ENLIGHT ante esta posible amenaza de la competencia norteamericana?
18. En su opinión, ¿observan algo externo a su empresa, en las políticas públicas nacionales, en las leyes que derivaron de la Reforma Energética para que una empresa pequeña tenga dificultades a la hora de competir con las empresas extranjeras en el desarrollo tecnológico de los paneles fotovoltaicos, de inversores de corriente, de seguidores solares y demás componentes?
19. En la próxima administración del país, como expertos del sector energético, ¿han considerado cuáles serán los próximos retos o proyectos que vienen para su organización?

IV. Grupo de organizaciones asociadas con ASOLMEX al año 2017

Empresa	Esquema ¹	País de origen	Tamaño ²
174 Power Global	PRS	Corea del Sur	Mediana
8 Minutenergy	DDP	E.U.	Grande
ABB	PRP	Suiza	Grande
AE Solar	GSD	Alemania	Mediana
Allen & York	REC	E.U.	Mediana
Alles Solar	GSD	México	Pequeña
Also Energy	PRS	E.U.	Mediana
ALTEN	DDP	España	Grande
AMDA	DDP	España	Grande
AMDE	JUR	México	Mediana
AMMPER	EPC	México	Mediana
ANCE	PRS	México	Mediana
AON	CON	Reino Unido	Grande
Array Technologies	PRS	E.U.	Mediana
Astrum	PRS	México	Mediana
ATA	CON	España	Pequeña
Atlas Renewable Energy	GGE	E.U.	Grande
Balam Fund	FEI	México	Pequeña
BayWa r.e.	GGE	Alemania	Grande
Becquerel Capital	FEI	México	Pequeña
BSW	CON	Alemania	Grande
Canadian Solar	PRP	Canadá	Grande
CEMEX Energía	DDP	México	Grande
Citelum	PRP	Francia	Grande
Copper Alliance	ACA	E.U.	Mediana
COX	DDP	España	Pequeña
Cubico	DDP	Reino Unido	Grande
Diamond Generating Co.	DDP	E.U.	Grande
DMSolar	GGE	México	Mediana
E&Y	CON	Reino Unido	Grande
EDF	DDP	Francia	Grande

Empresa	Esquema ¹
Enel Green Power	GGE
ENERRAY	DDP
ENERTIS	CON
Engie	GGE
Enlight	GSD
EOSOL	GGE
EXEL Solar	GSD
Fichtner	CON
First Solar	DDP
Fisterra Energy	DDP
Forefront Power	PRS
Fortius	DDP
FRV	EPC
Galt Energy	GSD
Gauss Energía	GGE
General Electric	PRP
Gransolar	DDP
Grenergy	EPC
Grupo Aldesa	GGE
Grupo Bimbo	FEI
Haynesboone	CON
Huawei	PRP
IENOVA	GGE
IER	ACA
ILMex	SEL
Ingeteam	PRP
Invenergy	DDP
ITESM	ACA
JA Solar	PRP
JCM Power	EPC
JEMA	PRP

Grupo de organizaciones asociadas con ASOLMEX al año 2017 (Fin)

Empresa	Esquema ¹	País de origen	Tamaño ²
Jinko Solar	GGE	China	Grande
Mainstream Renewable Power	DDP	Irlanda	Mediana
Master	PRP	México	Grande
METKA EGN	EPC	Grecia	Mediana
Mitsui & Co.	PRS	Japón	Grande
Naturgy	PRS	España	Grande
NEOEN	GGE	Francia	Mediana
NEXTracker	PRP	E.U.	Grande
OPDE	GGE	España	Mediana
Prana Power	PRS	México	Mediana
Prodiel	EPC	España	Grande
Prosolia Energy	DDP	España	Mediana
Proyecto Terra	GSD	México	Pequeña
PWC	CON	Reino Unido	Grande
RER Energy Group	EPC	E.U.	Mediana
Risen Energy	PRP	China	Grande
S2E Technologies	DDP	Canadá	Pequeña
Solar Century	DDP	Reino Unido	Mediana
Solar Power Group	PRP	México	Grande
Soltec	PRS	España	Grande
SOWITEC	DDP	Alemania	Mediana
Stäubli	PRP	Suiza	Grande
SUNGROW	PRP	China	Grande
SunPower	DDP	E.U.	Grande
Swinerton	DDP	E.U.	Grande
Thermion	DDP	México	Mediana
TMEIC	PRP	Japón	Grande
Tozzi	EPC	Italia	Grande
Tractebel	PRS	Francia	Grande
Trina Solar	GSD	China	Grande
TSK	EPC	España	Grande

Empresa	Esquema ¹
TUTO Energy	DDP
UNEF	REP
Valeco	DDP
Vector Cuatro	CON
Voltalia	EPC
Voltrac	PRS
X-Elio	DDP
Yingli Solar	PRP
Zuma Energía	DDP

Notación del esquema y tamaño empresarial

1 ACA: Academia; **CON:** Consultoría; **DDP:** Energy Performance Contracting; **FEI:** Finanzas de Gran Escala; **GSD:** Generación Solar Distribuida; **PRP:** Proveedor de Productos; **PRS:** Proveedor de Servicios Comerciales; **REP:** Relaciones Públicas; **SEL:** Selección de Personal.

A decir de una gran mayoría de estas organizaciones, la experiencia en más de una de las actividades se adquiere de acuerdo con el sitio web particular de cada una de las actividades en la que aseguraban tener una mayor experiencia.

2 Micro: 1-10 empleados; **Pequeña:** 11-50 empleados; **Grande:** 251 o más empleados.

La clasificación de los tamaños fue tomada de acuerdo sólo la del sector industrial.

Fuente: Elaboración propia con información de cada una de las organizaciones. Consultadas en el año 2017.