



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

INSTITUTO DE ENERGÍAS RENOVABLES

INSTITUTO DE INGENIERÍA

**Análisis de los certificados de
energía limpia como mecanismo
de promoción de las fuentes de
energía renovable**

TESIS

Que para obtener el título de
Ingeniera en Energías Renovables

P R E S E N T A

Aideé Zamora Espinola

DIRECTOR DE TESIS

M.E.S. Roberto Acosta Olea



Temixco, Mor., a 6 de junio 2019



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

*Con todo mi cariño a
mi familia y amigos*

Agradecimientos

Concluir la tesis ha sido uno de los retos más grandes de mi vida, me costó lágrimas, enojos y frustración, pero por fin logro sentir esa felicidad de culminar y quiero agradecer a muchas personas que contribuyeron a cada palabra escrita en la tesis.

Agradezco a mis padres Elvia, Rodolfo y a mi hermano Aldo quienes a lo largo de mi vida me han apoyado e impulsado a ser una mejor persona y profesionista. También agradezco a Ronit y Victor quienes han sido mis segundos padres. A mis abuelos, tías, tíos y mis primos, les agradezco por confiar en mí y en mis sueños. ¡Me declaro la primer mujer ingeniera de la familia!

Quiero agradecer especialmente a Roberto Acosta quien es un ser humano ejemplar. Sin su tutoría, amistad, paciencia, enseñanza, dedicación y amistad no hubiera sido posible.

A mi comité de tutores: Karla, Jorge, Manuel y Javier, gracias por su tiempo y retroalimentación.

Gracias IER-UNAM por los profesores, enseñanzas y el espacio, esto me permite cumplir uno de mis sueños: aportar algo a México y conservar grandes amistades de la LIER-DOS. También le doy gracias a Jorge Islas y Genice Kirat por su apoyo durante mi servicio social y por supuesto a Maribel por siempre estar al pendiente de la LIER.

Una de las experiencias que cambió mi vida y contribuyó a esta tesis fue mi estancia en la Universidad de Zaragoza-Fundación CIRCE. Esto fue gracias al apoyo de Álvaro Lentz, Erika Masiel, Valeriano Ruiz, Antonio Valero, Manuel Martínez, Jorge Rojas y a la beca de Capacitación de Métodos Investigación Fundación SEP-UNAM. Gracias Sabina Scarpellini y Eva Llera por recibirme durante la estancia y apoyarme en el desarrollo de la tesis.

A mis amigos Rodrigo, Andrei, Rafael, Kuri y Patricia, gracias por los buenos momentos, hicieron más divertido el concluir mi trabajo. No puedo dejar de mencionar a José Celis, gracias por devolverme la pasión y ayudarme a reconocer mi talento.

Al dream team REDMERE, gracias por depositar su confianza en mí e inspirarme a lograr mis sueños. A la gerencia de energías renovables del INEEL gracias por arroparme y formar parte de mis primeros pininos como profesional.

Finalmente, gracias, Mikael y Katia por apostar por mí en su proyecto y brindar su apoyo para terminar este trabajo.

¡Gracias!

Resumen

En el año 2013 se llevó a cabo una reforma energética, la cual trajo consigo modificaciones en la política energética de México, entre los cambios realizados destaca la creación del mercado de certificados de energía limpia (CEL) cuyo objetivo es incentivar la inversión en las fuentes de energía limpia, incluidas las fuentes de energía renovable (ER's). Dada la reciente creación del mercado y la reestructuración del sector eléctrico, se tiene poco conocimiento de los CEL. Es por ello, que el presente estudio analiza el uso de certificados de energía limpia como incentivo económico y ambiental. El estudio se realiza con base en el marco regulatorio del mercado de certificados y el entorno en el que se establecen los CEL y se determinan las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas del mercado de CEL en México empleando la matriz FODA. Entre los principales resultados se destaca que el mecanismo de CEL tiene un impacto positivo en la adopción de ER's, ya que funciona como un producto de mercado que representa los valores ambientales de las ER's y permiten a los generadores y suministradores tener un beneficio económico al mismo tiempo que colaboran con el cumplimiento de acciones de gobierno, como las metas de energía limpia. Finalmente, se propone una serie de recomendaciones para esclarecer el funcionamiento de los CEL e indicadores para evaluar su eficiencia y efectividad.

Palabras clave: política energética, certificados de energías limpias, energía renovable, FODA.

Contenido

Lista de acrónimos y abreviaturas	VI
Lista de figuras.....	VIII
Lista de tablas.....	IX
Capítulo 1. Planificación del proyecto	10
1.1 Planteamiento del problema.....	10
1.2 Objetivo general.....	11
1.3 Objetivos específicos	11
1.4 Hipótesis	12
1.5 Estrategia metodológica.....	12
1.6 Aspectos a considerar	13
1.7 Limitaciones.....	13
Capítulo 2. Marco conceptual.....	17
2.1 Política energética y energías renovables	17
2.1.1 Factores de influencia	20
2.1.2 Mecanismo de promoción de energías renovables	21
2.2 Certificados de energía limpia o su equivalente a nivel mundial	24
2.2.1 Contexto internacional.....	27
2.2.2 Lecciones aprendidas.....	32
Capítulo 3. Sector eléctrico mexicano	36
3.1 Nueva estructura del mercado eléctrico.....	36
3.1.1 Comisión Federal de Electricidad como empresa productiva del estado	38
3.1.2 Marco institucional	40
3.1.3 Comercialización	42
3.1.4 Precios del MEM	45
3.1.5 Participantes.....	46
3.2 Energías renovables	48
3.2.1 Definición	49
3.2.2 Potencial.....	50
3.2.3 Capacidad instalada	51
3.2.4 Generación	54
3.2.5 Costo nivelado de energía.....	55
Capítulo 4. Certificados de energía limpia en México.....	57
4.1 Marco legal y regulatorio.....	57

4.2 Descripción del mercado	61
4.2.1 ¿Qué son los CEL?	61
4.2.2 Participantes.....	61
4.2.3 Obligación.....	63
4.2.4 Dinámica del mercado	65
4.2.5 Subastas y contratos de cobertura eléctrica	67
4.2.6 Penalizaciones.....	68
4.3 Instituciones reguladoras	69
4.4 Seguimiento y verificación	70
4.5 Estadísticas.....	70
Capítulo 5. Análisis FODA de los certificados de energía limpia.....	73
5.1 Análisis interno	73
5.1.1 Debilidades (D).....	74
5.1.2 Fortalezas (F)	76
5.2 Análisis externo	78
5.2.1 Amenazas (A)	78
5.2.2 Oportunidades (O)	79
5.3 Estrategias F-O	80
5.4 Estrategias D-O.....	81
5.5 Estrategias F-A	82
5.6 Estrategias D-A.....	84
Conclusiones	86
Anexo I. Indicadores para evaluar la efectividad y eficiencia los CEL	89
Referencias	91

Lista de acrónimos y abreviaturas

Abreviatura	Significado
A	Amenazas
a	Anual
Art.	Artículo
ASEA	Agencia de Seguridad, Energía y Ambiente.
CEL	Certificados de Energía Limpia
CENACE	Centro Nacional de Control de Energía
CFE	Comisión Federal de Electricidad
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
COP	Conferencia de las Partes
CRE	Comisión Reguladora de Energía
D	Debilidades
ER's	Fuentes de Energía Renovable
EUR	Euros
F	Fortalezas
FODA	Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas
Fracc.	Fracción
GLD	Generación Limpia Distribuida
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GWh	Giga-Watt hora
kg	Kilogramos
kWh	Kilowatt hora
LCOE	Levelized Cost of Energy (Costo nivelado de energía, por sus siglas en inglés)
LIE	Ley de la Industria Eléctrica
LTE	Ley de Transición Energética
m	Metros
MEM	Mercado Eléctrico Mayorista
MW	Mega-Watt
MWh	Mega-Watt hora
NOM	Norma Oficial Mexicana
O	Oportunidades
ONU	Organización de la Naciones Unidas
PEMEX	Petróleos Mexicanos
PIE	Productor Independiente de Energía
PML	Precio Marginal Local
SE	Secretaría de Economía
SEMARNAT	Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales
SEN	Sistema Eléctrico Nacional
SENER	Secretaría de Energía

SHyCP	Secretaría de Hacienda y Crédito Público
SIN	Sistema Interconectado Nacional
SSB	Suministrador de Servicios Básicos
SSC	Suministrador de Servicios Calificados
TCIL	Titular de una Central de Interconexión Legada
TWh	Tera-Watt hora
UC	Usuario Calificado
USD	Dólares
W	Watt

Lista de figuras

Figura 1. Mapa mundial de países que cuentan con políticas para la promoción de ER. Fuente: [12].....	19
Figura 2. Esquema de los factores determinantes para la elaboración de la política energética. Fuente: Elaboración propia con base en [13].....	21
Figura 3. Gráfica de la curva de oferta y demanda del mercado de certificados. Fuente: [22]	26
Figura 4. Esquema de la estructura de la legislación vigente aplicable al sector eléctrico mexicano y a las ER. Fuente: Elaboración propia.....	38
Figura 5. Esquema de la estructura del mercado eléctrico mayorista. Fuente: Elaboración propia	43
Figura 6. Diagrama de la clasificación de energía limpia, renovable y no renovable. Fuente: [54].....	50
Figura 7. Gráfica de la capacidad instalada en 2017 (MW). Fuente: Elaboración propia con datos de [56].....	53
Figura 8. Gráfica de la evolución de la capacidad instalada de ER para generación eléctrica, 2005-2017. Fuente: Elaboración propia con datos de [57]. Los datos actuales incluyen estadísticas de contratos a gran escala y generación distribuida. Los datos pueden variar con respecto a bases de datos nacionales debido a su clasificación	54
Figura 9. Gráfica de la evolución de la generación eléctrica a partir de ER, 2005-2017. Fuente: Elaboración propia con datos de [57]. Los datos actuales incluyen estadísticas de contratos a gran escala y generación distribuida. Los datos pueden variar con respecto a bases de datos nacionales debido a su clasificación	55
Figura 10. Gráfica de los costos nivelados de energía. Fuente: [61]	56
Figura 11. Cuadro de la línea de tiempo del marco legal y regulatorio de los CEL. Fuente: Elaboración propia.....	59
Figura 12. Esquema de las fuentes de energía limpia que pueden recibir CEL. Nota:*Otras tecnologías se refiere a las tecnologías que determinen la SENER y la SEMARNAT a través de diferentes requerimientos establecidos para tal efecto. Fuente: Elaboración propia con base en [62].....	63
Figura 13. Gráfica del porcentaje de obligación de energía limpia por año (%) entre 2018 y 2022. Fuente: [63].....	64
Figura 14. Esquema del proceso de oferta y demanda de acuerdo a los participantes del mercado. Fuente: Elaboración propia con base en [59].....	67

Lista de tablas

Tabla 1. Estrategia de análisis. Fuente: Elaboración propia	15
Tabla 2. Factores de <i>banding</i> . Fuente: [31]	30
Tabla 3. Barreras y acciones de mejora en el mercado de certificados para la promoción de ER. Fuente: Elaboración propia.....	33
Tabla 4. Variables internas y externas que influyen en el mercado de certificados. Fuente: Elaboración propia.....	34
Tabla 5. Instituciones integrantes del sector eléctrico. Fuente: Elaboración propia.....	41
Tabla 6. Potencial de generación eléctrica con energías renovables en México (GWh/a). Fuente: [54].....	51
Tabla 7. Matriz para la determinación de multas por incumplimiento en la adquisición de CEL (Días de salario mínimo por MWh de obligaciones incumplido). Fuente: CRE	68
Tabla 8. Descripción de actores y funciones del mercado de CEL. Fuente: Elaboración propia con base en [1]	69
Tabla 9. CEL adjudicados en las subastas. Fuente: Elaboración propias con base en datos de [42], [66]	71
Tabla 10. Número de CEL otorgados por tecnología. Fuente: Elaboración propia con datos de [65]–[67]	72
Tabla 11. Número de CEL otorgados (millones). Fuente: [64]	72
Tabla 12. Matriz FODA. Fuente: Elaboración propia	85
Tabla 13. Tabla de indicadores para evaluar la efectividad y eficiencia de los CEL. Fuente: Elaboración propia con base en [74].....	89

“El impacto del cambio climático mundial puede presentar un desafío mayor que cualquier otro al que se haya enfrentado la humanidad...”

-Gro Harlem Brundtland¹

Capítulo 1. Planificación del proyecto

1.1 Planteamiento del problema

En los últimos años se ha incrementado el interés en la promoción de las fuentes de energía renovables (ER's) debido a que representan un eje importante en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y son una vía para garantizar la seguridad energética y alcanzar el desarrollo sustentable. Es por ello que diversos países se han comprometido mediante acuerdos internacionales a incluir a las ER's dentro de su política energética de las cuales se derivan diferentes mecanismos para concretar la transición de sistemas convencionales a ER's.

Estos esfuerzos implican una correcta planificación, seguimiento y evaluación, tal que se garantice el cumplimiento de los objetivos establecidos, es decir, se requieren de decisiones e instrumentos articulados que cubran todos los aspectos de la política para alcanzar desde una perspectiva holística un sistema energético independiente de los combustibles convencionales.

Bajo este contexto, en México en el año 2013 se llevó a cabo una reforma energética, la cual trajo consigo modificaciones a la política energética mexicana en todos los sectores. La reforma energética transformó los sectores hidrocarburos y eléctrico a través de cambios constitucionales y legislaciones secundarias.

Entre los principales cambios legislativos destaca la Ley de la Industria Eléctrica (LIE), la cual establece las nuevas reglas de operación del Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) y disposiciones adicionales que incentivan la libre competencia en el mercado eléctrico, su objetivo es garantizar

¹ Conferencia de Toronto, 1989

la seguridad energética del país, reducir las emisiones de GEI y promover la diversificación de la matriz energética.

Para ello, se define el término de energías limpias² y se establece la meta nacional de generación de energías limpias del 35% al 2024 [1]. Como parte de su cumplimiento, se implementó la obligación de cubrir el 5% del consumo eléctrico a partir de energías limpias en 2018, 5.8% en 2019, 7.4% en 2020, 10.9% en 2021 y 13.9% en 2022, respectivamente; que puede ser cubierto con certificados de energía limpia (CEL) [1].

Los CEL incentivan las inversiones en tecnologías limpias, incluidas las ER's, al generar ingresos para los generadores al mismo tiempo que permiten disminuir los efectos de las emisiones de gases de efecto invernadero. Sin embargo, debido a la reciente creación del marco regulatorio, hay desconocimiento en términos generales en el proceso compra-venta de certificados y los beneficios económicos y ambientales.

Es por ello que la presente investigación determina las Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas del mercado de CEL y propone una serie de indicadores para su evaluación.

1.2 Objetivo general

Analizar el uso de certificados de energía limpia como incentivo económico y ambiental para promover la inversión en las fuentes de energía renovable en México.

1.3 Objetivos específicos

Los objetivos específicos que atienden al objetivo general son:

1. Explicar el marco conceptual del mercado de certificados de energía limpia o su equivalente.
2. Contextualizar el entorno en el que se establecen los certificados de energía limpia.

² En el Capítulo 3, sección 3.2.1 Definición, se discuten las definiciones de energía limpia y ER's.

3. Explicar el funcionamiento de los certificados de energía limpia.
4. Describir la evolución del marco regulatorio de los certificados de energía limpia.
5. Analizar los certificados de energía limpia a través de la matriz de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas (FODA).

1.4 Hipótesis

Los certificados de energía limpia incentivan la inversión en la implementación de fuentes de energía renovable para la generación de electricidad en México al generar beneficios económicos y ambientales.

1.5 Estrategia metodológica

El presente trabajo se desarrolla explicando los antecedentes del marco conceptual del mercado de certificados en el contexto mundial, para identificar las variables que afectan al mercado y por ende la promoción de ER's. Así mismo, se realiza el diagnóstico documental del entorno en el que se establecen los CEL con base en la Ley de la Industria Eléctrica (LIE), legislación relativa a los CEL y legislación adicional en materia de ER's, identificando los actores principales y la estructura del mercado eléctrico.

También se realiza una recopilación y análisis de datos históricos de la capacidad instalada, generación, consumo y precios de la electricidad hasta el año 2017 orientado a las ER's.

Se explica el funcionamiento de los CEL en México con base en el fundamento legal, se identifican los actores principales, se describe el sistema de la emisión, la adquisición, la compra-venta de certificados, las obligaciones, las penalizaciones y los procesos administrativos.

Finalmente, se identifican las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas del mercado de CEL en México empleando la matriz FODA. La metodología antes descrita se resume en la Tabla 1.

1.6 Aspectos a considerar

- El análisis temporal legislativo está limitado al periodo de operación inicial de la reforma, apoyándose en el contexto histórico y estadísticas desde el año 2000 al primer semestre de 2018.
- La definición de energías renovables empleada en el estudio es la referida en la Ley de Transición Energética (LTE) en el Artículo (Art.) 3 Fracción XVI:

“Aquellas cuya fuente reside en fenómenos 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. Se consideran fuentes de energías renovables las que se enumeran a continuación:

- a) El viento;
- b) La radiación solar, en todas sus formas;
- c) El movimiento del agua en cauces naturales o en aquellos artificiales con embalses ya existentes, con sistemas de generación de capacidad menor o igual a 30 MW o una densidad de potencia, definida como la relación entre capacidad de generación y superficie del embalse, superior a 10 watts/m²;
- d) La energía oceánica en sus distintas formas, a saber: de las mareas, del gradiente térmico marino, de las corrientes marinas y el gradiente de concentración de sal;
- e) El calor de los yacimientos geotérmicos, y
- f) Los bioenergéticos que determine la ley de promoción y desarrollo de los bioenergéticos.”

1.7 Limitaciones

El presente estudio recopila experiencias internacionales del mercado de certificados; sin embargo, el objetivo no es la comparación de los mercados internacionales u otros mecanismos de promoción de ER's. Asimismo, el análisis de la legislación del sector eléctrico se realiza con el objeto de

identificar las variables que influyan directa e indirectamente en el mercado de los CEL por lo que no se analiza cada aspecto de la legislación. Finalmente, los resultados del presente trabajo pueden cambiar, si se cambia la regulación.

Tabla 1. Estrategia de análisis. Fuente: Elaboración propia

Preguntas de investigación	Objetivo	Metodología	Capítulo de análisis
<ul style="list-style-type: none"> ■ ¿Qué instrumentos se emplean para promover a las ER's? ■ ¿Cuáles son los principios básicos del mercado de CEL? ■ ¿Cuáles son las lecciones aprendidas en los mercados internacionales? ■ ¿Cuáles fueron los beneficios de utilizar los CEL? 	<p>1. Explicar el marco conceptual del mercado de CEL o su equivalente.</p>	<p>Este objetivo se logra a través de la revisión bibliográfica de artículos internacionales, publicaciones emitidas por gobiernos y entidades especializadas en energía, así como literatura general de la definición de política energética, los instrumentos de política que se emplean para la promoción de energías renovables, la naturaleza de los mercados de CEL y las experiencias de instrumentos similares a nivel mundial.</p>	<p>Capítulo 2. Marco conceptual</p>
<ul style="list-style-type: none"> ■ ¿Cuál es el contexto en que se implementa el mercado de CEL en México? 	<p>2. Contextualizar el entorno en el que se establecen los CEL.</p>	<p>Se realiza un análisis documental del nuevo marco regulatorio del sector eléctrico con base en la LIE y legislación adicional en materia de energías renovables,</p>	<p>Capítulo 3. Sector eléctrico mexicano</p>

		identificando los actores principales y la estructura del mercado eléctrico. También se realiza una recopilación y análisis de datos históricos de la capacidad instalada, generación, consumo y precios de electricidad hasta el año 2017 orientado a las ER's para generación de electricidad.	
<ul style="list-style-type: none"> ■ ¿Cómo funciona el mercado de CEL en México? 	<ol style="list-style-type: none"> 3. Explicar el funcionamiento de los CEL. 4. Describir la evolución del marco regulatorio de los CEL. 	Se explica el funcionamiento de los CEL con base en el fundamento legal identificando los actores principales, el sistema de: emisión, adquisición, compra venta de certificados, obligaciones, penalizaciones y procesos administrativos.	Capítulo 4. Certificados de energía limpia en México
<ul style="list-style-type: none"> ■ ¿Cuál es el impacto posible de la implementación de los CEL? 	5. Analizar los CEL a través de la matriz FODA.	Finalmente, se identifican las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas del mercado de CEL en México.	Capítulo 5. Análisis FODA de los certificados de energía limpia

“El cambio climático es el reto que marca nuestra era. Por eso, hice de él una de nuestras principales responsabilidades”

-Ban Ki-moon, Secretario General de la ONU³

Capítulo 2. Marco conceptual

En este capítulo se describe la definición de política energética, su relación con las energías renovables y el marco lógico para la elaboración de la política, los instrumentos de política que se emplean para la promoción de las fuentes de energía renovables (ER's), la naturaleza de los certificados de energía limpia (CEL) o su equivalente y las experiencias a nivel mundial. Lo anterior, en su conjunto conforma el marco conceptual del mercado de certificados en el contexto mundial, agrupando la información recolectada de artículos internacionales, publicaciones internacionales, publicaciones emitidas por gobiernos y entidades especializadas en energía, así como literatura general.

2.1 Política energética y energías renovables

El principal instrumento que respalda y determina el rumbo del sector energético es la política energética, la cual se define como una política de Estado ya que acoge los asuntos que interesan a la sociedad y que se encuentran alineados a los intereses nacionales; también se considera como el marco de referencia que engloba: información, estadísticas, mercados, consumidores, tecnología, tomadores de decisiones y regulación; y tiene como objetivo garantizar: 1) la seguridad energética, 2) la igualdad energética y 3) la sostenibilidad medioambiental [2] en aras de contribuir a mejorar el mundo para las futuras generaciones.

Actualmente la elaboración de la política energética de las naciones ha evolucionado [3] reconociendo que el sector energético tiene un papel clave en la mitigación del cambio climático⁴ debido a la creciente demanda de energía y la dependencia a los combustibles

³ Frases durante la COP 21

⁴ Entiéndase por cambio climático como el cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera y se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comprobables [75].

fósiles [4], lo que ha provocado el incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) [5].

En este tenor, organismos internacionales en conjunto con las naciones han ratificado acuerdos y establecido metas, entre los que destacan los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), también conocidos como Objetivos Mundiales de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), en el que específicamente el objetivo número 7 indica que al año 2030 se debe: *“Asegurar el acceso a energía asequible, confiable, sostenible y moderna para todos”*[6]; el desarrollo de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) y la Conferencia de las Partes (COP) cuyo objetivo es estabilizar las concentraciones de GEI y conjuntar esfuerzos para hacer frente al cambio climático estimulando a cada una de las partes para integrar en sus programas de desarrollo medidas de mitigación [7].

Otro de los esfuerzos internacionales que surgió en el marco de la COP 23 y en continuidad al Protocolo de Kioto⁵ fue el Acuerdo de París [8], acuerdo que establece los compromisos para la reducción de las emisiones de GEI y garantizar que las naciones puedan migrar a un mundo bajo en carbono [9]. En consecuencia, las naciones han buscado alternativas para migrar a un nuevo esquema, vislumbrando a las ER's como una de ellas⁶.

A pesar de que las ER's representan una opción plausible, aún se encuentran limitadas debido a: su intermitencia (dependen de condiciones climáticas y meteorológicas), los altos costos de inversión inicial y de tecnología de almacenamiento, a las redes de interconexión que aún

⁵ El Protocolo de Kioto fue un acuerdo que firmaron las naciones en el año 1997 para reducir las emisiones de GEI.[76]

⁶ Dichas fuentes permiten disminuir gases de efecto invernadero, promover la creación de empleos, pueden utilizarse en zonas que no tengan acceso a electricidad siempre y cuando el recurso disponible sea el adecuado, garantiza estabilidad en los precios ya que el mercado no se comporta igual que el de las fuentes convencionales, el sistema tiene mayor resiliencia y su desarrollo implica la creación de nuevos mercados y el incremento en las inversiones al área de investigación y desarrollo.

no cuentan con los requerimientos técnicos suficientes para realizar la interconexión a la red eléctrica y los bajos incentivos financieros.

No obstante su uso e incorporación a través de las políticas de cada país no ha sido mermado, siendo así que en el año 2015 se contabilizaron 173 países [10] que adoptaron políticas, acuerdos voluntarios y obligatorios, medidas reglamentarias, programas a nivel internacional, nacional y local que permiten incorporar las ER's a la matriz energética (ver Figura 1) modificando el marco regulatorio, facilitando la construcción de nueva infraestructura, creando y mejorando las condiciones del mercado para su aplicación y los procesos para la adquisición de permisos para la instalación de centrales de generación eléctrica a partir de ER's.

Lo cual posiciona a las ER's entre las primeras opciones en el mundo [10] para diversificar la matriz energética, revolucionar el paradigma energético [11] y encaminar a los países a alcanzar un desarrollo sustentable a través de la transición energética.

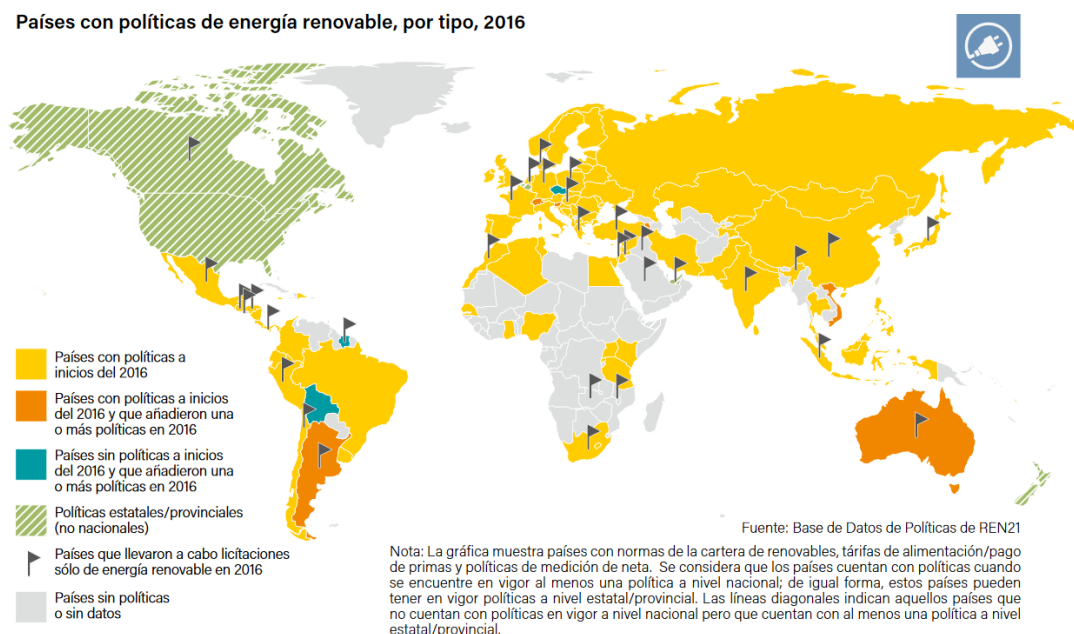


Figura 1. Mapa mundial de países que cuentan con políticas para la promoción de ER. Fuente: [12]

2.1.1 Factores de influencia

El diseño de una política energética implica un proceso de análisis holístico que se traduce en un sistema complejo, cuyas influencias pueden ser internas y/o externas[13].

Las fases del diseño de una política son [13]:

1) Identificar y definir el problema al que responde la política. Esta fase implica el análisis de la situación para identificar el problema, considerando aspectos como: la flexibilidad y diversidad del entorno, el mercado, las tendencias tecnológicas y los acuerdos internacionales en materia ambiental y política. También se incluyen las políticas transversales y el marco legal vigente, así como el desarrollo industrial, la sociedad, las instituciones involucradas, ambiente y los tomadores de decisiones [13].

Por lo tanto, la política debe ser concordante con: la política nacional, los acuerdos internacionales, marco legislativo, condiciones de mercado y ambientales, investigación, desarrollo y sociedad, como se muestra en la Figura 2 [14].

2) Definir los objetivos de la política. Los objetivos de una política definen la solución a un problema o el alcance de una situación en particular que se quiera alcanzar, los objetivos pueden ser generales y/o específicos y deberán estar organizados de acuerdo a su prioridad.

3) Realizar el plan de acción para su implementación. La implementación comprende de uno o varios planes de acción que se elaboran en función al objetivo que se pretende alcanzar. Los planes de acción parten de una línea base en un horizonte de tiempo, realizar la articulación entre los actores involucrados, así como con el entorno para establecer instrumentos y acciones que permitan dar operatividad a los objetivos.

4) Elaborar un plan de monitoreo y revisión. Esta fase permite elaborar un plan para gestionar el plan de acción de la política de tal manera que garantice alcanzar sus objetivos y en su caso, realizar cambios para garantizar su cumplimiento. Este plan se realiza a corto,

mediano y largo y debe realizarse de tal manera que permita realizar la comparación con lo planteado en la política.

Tomando en cuenta estos aspectos se podrá elaborar una propuesta de Política o Plan Energético Nacional, de tal manera que se podrán atender las necesidades de los países para garantizar y contribuir a los planes de desarrollo nacional.

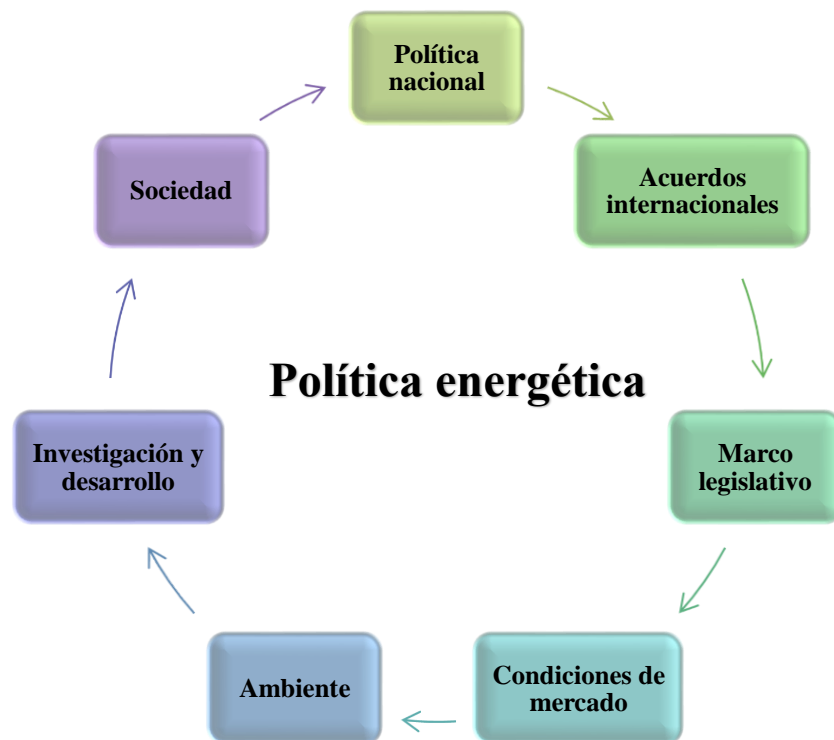


Figura 2. Esquema de los factores determinantes para la elaboración de la política energética. Fuente: Elaboración propia con base en [13]

2.1.2 Mecanismo de promoción de energías renovables

Para promover las ER's se han diseñado mecanismos que permiten incrementar el porcentaje de participación de las ER's en la matriz energética. Estos mecanismos pueden adoptar la forma de política nacional, instrumento regulatorio, incentivo fiscal, instrumentos que faciliten el acceso a la red y mecanismos que proporcionan beneficios: ambientales, económicos y sociales [15].

Entre los mecanismos más utilizados a nivel mundial, se encuentran:

- **Metas de generación de energía renovables**

Son un compromiso de la política nacional de cada país asociado a la reducción de GEI, los cuales se deben alcanzar en el periodo que se especifique y se establecen a través de la creación de nuevas leyes que faciliten la transición energética (estas pueden ser leyes generales o particulares para cada tecnología).

- **Contraprestaciones**

Tarifa de alimentación (*Feed in tariff*). Es una política que permite acelerar las inversiones en energía renovable, ofreciendo a los proveedores una prima⁷ a precio fijo pero atractivo para la recuperación de costos de generación de electricidad a partir de ER a través de contratos a largo plazo. Actualmente es el tipo de política más empleado a nivel mundial [12].

Tarifa preferente (*Feed in Premium*). Por su parte, el *Feed in Premium* ofrece una prima en el mercado *spot*, permitiendo a los generadores responder la demanda de electricidad cuando esta es alta o la generación de otras fuentes es baja, lo cual permite un suministro eficiente en función a la demanda.

Medición Neta (*Net metering*). Es un esquema de contraprestación que permite a los generadores recuperar los excedentes que se producen, aplica cuando el sistema de generación de ER's no está en operación o bien a través de la reducción de sus facturas eléctricas. El esquema existe con uno o dos medidores independientes, que permiten diferentes beneficios a la hora de cobrar.

- **Subastas**

⁷ Recompensa o premio especial.

El mecanismo de subastas permite la venta de grandes volúmenes de energía renovable a precios competitivos, este tipo de esquema se utiliza principalmente en mercados liberalizados y estructurados de forma vertical. Las subastas permiten un diseño flexible que permite adaptarlas a los objetivos requeridos y permite la venta de energía de forma transparente, se pueden llevar a cabo en periodos y requerimientos energéticos que se elijan. Cabe mencionar que su organización permite transparencia en los procesos de compra venta.

- **Cuotas obligatorias de consumo y mercado de certificados**

Se establece un porcentaje de consumo de energía a partir de ER's que se deben de cumplir en el periodo específico que se establezca, de tal manera que al final del periodo se declara el cumplimiento de este, en caso de que esta obligación no se cubra implica una penalización. En muchos casos las cuotas obligatorias se acompañan de un mercado de certificados, los cuales pretenden auxiliar el cumplimiento de la misma (en el Capítulo 4. Certificados de energía limpia se define y se describe con mayor detalle el mercado de certificados).

- **Mecanismos fiscales**

Otra de los mecanismos utilizados para incentivar la inversión en proyectos de energías renovables son: la aplicación de impuestos a los combustibles convencionales o bien la exención de impuestos a las ER, la reducción de aranceles que impactan en la exportación e importación de tecnologías, aplicación de impuestos a las emisiones de gases de efecto invernadero y la depreciación acelerada la cual permite otorgar una tasa anual que permite la recuperación de un porcentaje mayor de la inversión original de los activos.

- **Facilitar acceso a la red**

Existen mecanismos que se implementan para facilitar el acceso de las ER's a la red eléctrica los cuales pueden abarcar desde la aplicación de descuentos por el uso de las redes de transmisión o exención de las cuotas de porteo, dar prioridad de interconexión o hacer un despacho de energía preferencial.

- **Financiamiento**

Una de las barreras que frenan el desarrollo de las ER's es la falta de financiamiento; para ello, las organizaciones internacionales y la banca de desarrollo destinan fondos específicos para implementar proyectos, las garantías, préstamos directos a una tasa de interés adecuada y apoyos a la pre-inversión.

- **Programas específicos**

Se elaboran programas específicos que permiten el acceso a las energías renovables, esto puede ser aplicable en el sector rural, programas para la introducción de tecnologías específicas, apoyar los requerimientos de contenido local, creación de regulación ambiental y especial que garantice el cuidado del agua, uso de tierra, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y que atienda las implicaciones sociales.

Si bien no hay una política cien por ciento efectiva [16], ya que su impacto positivo depende de diferentes variables; principalmente de la competitividad económica de las tecnologías [17], y de la situación energética y política de cada país; es notorio que la implementación de dichos instrumentos ha permitido que el sector energético, en especial el eléctrico, avance hacia la transición hacia las ER's [18].

En este sentido, los mecanismos que han estimulado en mayor medida la inversión en ER's son las metas de generación, subastas, subsidios a la inversión y el esquema de *Feed in Tariff* [19], por sí solos o bien combinados con mecanismos de promoción adicionales.

2.2 Certificados de energía limpia o su equivalente a nivel mundial

El mercado de CEL o su equivalente se define como un mecanismo implementado por los gobiernos para alcanzar las metas que establecen para el uso de ER's y el cumplimiento con los acuerdos ambientales firmados [20]. Se considera un instrumento basado en el mercado

que representa los derechos de propiedad sobre los atributos ambientales, sociales y otros no relacionados al generar un MWh de electricidad a partir de ER's. El éxito del mercado de CEL para incentivar la inversión en ER's depende de las políticas establecidas, los precios de electricidad, los niveles de consumo de energía limpia y las barreras tecnológicas [21].

El mercado de CEL se puede operar de forma paralela al mercado eléctrico reduciendo las distorsiones⁸ del mercado eléctrico y generando un mercado en el cual se puede vender de forma conjunta electricidad y certificados [17].

Su funcionamiento se basa en los principios de la oferta y demanda, es decir, la oferta se crea a través de los certificados que los productores de energía reciben por un monto específico de energía generado a partir de una fuente de energía en específico; monto que es establecido por el gobierno. Posteriormente, se vende a través del mercado spot o por contratos definidos a largo plazo creados para tal efecto.

En el mercado spot la demanda de los certificados se crea a través de las obligaciones en consumo, generación o transmisión que impone el gobierno u otros actores que forman parte de la cadena de valor del sector eléctrico para incentivar la inversión en ER's.

Bajo este escenario la oferta y demanda de certificados determinan la estabilidad del precio en función a la obligación, es decir, la oferta y demanda quedará sujeta al objetivo (Q) que corresponde a la obligación impuesta por el gobierno y el precio marginal correspondiente (mc^*) que se refiere al precio de referencia del certificado, ver Figura 3.

Una vez que se determina el precio de la electricidad, los certificados se venderán en función del precio marginal y el precio de la electricidad en el mercado $PC=mc^*-PE$. Teniendo como base el precio de la energía renovable en el mercado (PE) hasta A, en donde A es el periodo en que se produce energía sin certificados.

⁸ Es una desviación de la asignación de recursos económicos del estado.

Para estos productores, el mercado de certificados generará ganancias adicionales (diferencia entre mc^* y PE). El beneficio total para los productores será la venta de electricidad y certificados que es equivalente al área entre la línea mc^* y la curva del costo marginal de renovables (MC) [22].

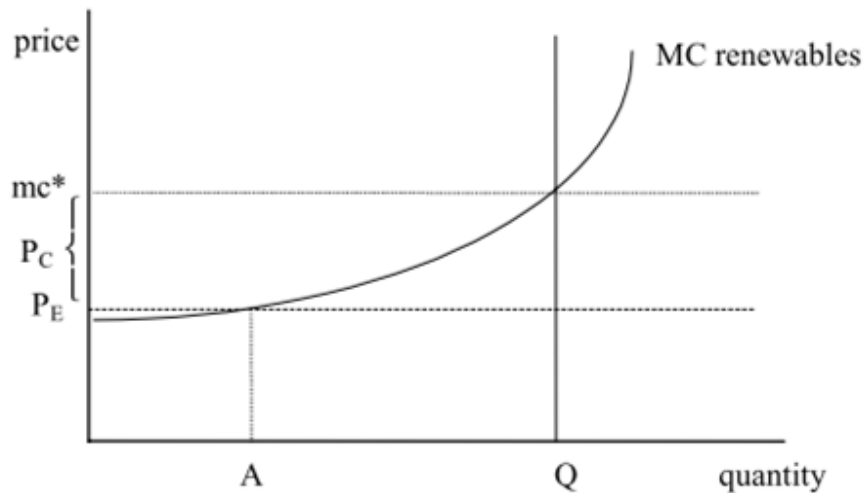


Figura 3. Gráfica de la curva de oferta y demanda del mercado de certificados. Fuente: [22]

En caso de existir una baja oferta de certificados el precio se incrementa, lo que incentiva a los productores a generar a partir de ER's y vender energía a menor precio. En contra parte, el mercado se vuelve competitivo cuando bajan los costos de generación y se incrementa la cantidad de certificados, por lo que es una buena herramienta costo beneficio para alcanzar las metas de generación a partir de ER.

La volatilidad en los precios del mercado spot de certificados se presenta cuando los certificados se determinan en función a la capacidad instalada, el cambio de gobierno y el interés que tengan los participantes en dicho mercado.

Además, en caso de que la capacidad sea insuficiente, los precios suelen ser volátiles cercanos al periodo de cumplimiento de la obligación, principalmente los precios presentan una fuerte presión al alza sobre la instalación de nueva capacidad o (si el período de tiempo es demasiado corto para nuevas instalaciones) provocando que las empresas que no cumplan con su obligación tendrán que pagar la multa establecida.

Por el contrario, cuando existe un exceso de capacidad, el suministro de certificados es más alto que la demanda y la competencia entre proveedores darán lugar a una fuerte presión a la baja sobre el precio de los certificados a casi cero.

En ambos escenarios los precios son altos y puede poner en riesgo el mercado de certificados por lo que se deben de establecer reglas claras en el mercado.

Asimismo, en el mercado de largo plazo se realizan contratos para comercialización de certificados que se emitirán a futuro con la finalidad de cubrir el riesgo del precio del certificado y garantizar las inversiones en proyectos de ER's.

También se puede crear un mercado voluntario de certificados para crear una mayor oferta de certificados y en él participan empresas con compromisos ambientales.

2.2.1 Contexto internacional

El concepto de certificados de energía se mencionó por primera vez en el estado de California en el año 1995. Sin embargo, es en el año 1997 cuando la comunidad europea implementó el mercado de certificados [22] en consecuencia de la necesidad de crear un instrumento que atendiera las metas que involucraban la liberalización de mercado, la introducción de nuevas fuentes de energía y cumplir con los acuerdos que se firmaron en el Protocolo de Kioto[23].

Entre los países que instauraron el mercado de CEL o su equivalente se encuentran: Rumanía, Reino Unido, Holanda, Italia, India y Estados Unidos de América por mencionar algunos. Sus experiencias permiten establecer un marco de referencia abordando las siguientes preguntas ¿Cuáles son las lecciones aprendidas en los mercados internacionales? ¿Cuáles son las principales variables que afectan el mercado? y ¿Qué tecnologías resultaron beneficiadas?

A continuación, se engloban las principales implicaciones en los países antes mencionados.

2.2.1.1 Rumania

En Rumanía de acuerdo con [24] se instauró el mercado de certificados y de cuotas obligatorias a partir de energías renovables en 2008. El mercado permitió la comercialización de certificados incrementando la cantidad de certificados emitidos en un lapso de ocho años de miles a millones. Los cuales beneficiaron principalmente a centrales eólicas e hidráulicas con capacidad menor a 10 MW. Así mismo se incrementó la contribución de ER's a la matriz energética y el consumo de electricidad a partir de dichas fuentes. Los certificados que equivalen a 1 MWh se convirtieron en ganancias adicionales para los generadores a través de contratos bilaterales y venta directa en el mercado centralizado⁹ mensual. Las centrales que certificaron su producción para la obtención de certificados fueron: las micro hidroeléctricas, eólicas, biomasa y fotovoltaicas[25].

El precio de cada certificado se ubicó entre 55 EUR y 42 EUR. Sin embargo, debido a la crisis económica de 2013 se suspendieron los certificados y es en 2016 que se confirma la baja participación del mercado en donde solo se vendieron 0.3% del total de certificados. En consecuencia se modificaron regulaciones referentes al cálculo de certificados, protección de su validez y del consumidor[26].

Entre los principales cambios se estableció el mecanismo de franjas o *banding*. El mecanismo permite asignar mayor número de certificados por MWh generado a aquellas tecnologías que representan mayores costos de generación. Por ejemplo, las instalaciones fotovoltaicas recibían 6 certificados por 1 MWh entregado a la red, las centrales de biomasa recibían 3 y las centrales eólicas 1.

2.2.1.2 Reino Unido

En Reino Unido los certificados de energía limpia se asignaban a los productores que generaban electricidad a partir de energías renovables y permitía a los consumidores cumplir con sus obligaciones. El precio del certificado se estableció en términos generales como la diferencia entre el precio de la electricidad en el mercado y el precio máximo de la

⁹ El mercado centralizado se refiere al sistema creado únicamente para realizar transacciones de certificados.

electricidad “renovable”. Este factor permitía a los generadores que producían electricidad a menor costo vender con mayor facilidad los certificados en el mercado

El mercado de CEL permitió incrementar la capacidad instalada de tecnologías renovables entre el año 2000 y 2013 de 425 MW a 10,976 MW principalmente de energía solar y eólica [27]. También se empleó el *banding* con el propósito de promover las tecnologías menos competitivas económicamente a través de incentivos y compensar la oferta de los certificados.

Sin embargo, el mercado en Reino Unido cerró en consecuencia de la volatilidad de los precios en los certificados. La volatilidad surgió debido a los altos costos de los certificados, las multas y el incumplimiento de las obligaciones. Es decir, el precio de las multas era menor al de los certificados, aunado a los precios competitivos de la venta de energía los usuarios obligados cubrían la multa y no adquirían los certificados.

2.2.1.3 Holanda

[28] señala que en Holanda se estableció una “etiqueta verde” que representaba un mercado de certificados para incentivar a los generadores a emplear tecnologías ER’s [29]. Las transacciones se realizaban a través de la compra de energía y certificados o bien de transacciones bilaterales. Al igual que en otros esquemas internacionales los certificados se utilizaban para cumplir con las obligaciones de consumo a partir de ER’s. Entre las principales fuentes de generación que se consideraban estaban las hidroeléctricas de pequeña escala, centrales de biomasa, biogás y eólica. Las cuales crecieron exponencialmente del 2005 a 2014 a excepción de las centras hidroeléctricas las cuales se mantuvieron constantes.

En los primeros años el mercado de certificados permitió a los generadores obtener ingresos adicionales. Sin embargo, en 2012 debido a cambios legislativos que atendía el cambio tardío del sector, el cálculo erróneo de las obligaciones, la ausencia del periodo de vigencia del certificado y la dificultad de los pequeños generadores para participar de manera eficiente en el mercado, ocasionaron que el mercado colapsara [30], aunado a la crisis que enfrentaba el sector renovable.

2.2.1.4 Italia

Italia implementó el mercado de certificados para promover las ER's y asignó un porcentaje obligatorio de consumo de energía renovable del 3.05%. La cual era cubierta por los generadores e importadores. Los certificados acreditaban la generación de 1 MWh y tenían una vigencia de 12 y 15 años dependiendo el periodo en donde fueron establecidos, de 1999 a 2007 y antes del 1 de enero 2008, respectivamente.

En particular en Italia se empleó el mecanismo de *banding* para incentivar las tecnologías menos maduras y adoptó diferentes políticas para disminuir la volatilidad de los precios permitiendo la asignación bancaria y la capitalización virtual, así como precios de referencia (*Cap Floor Price*)¹⁰ [31].

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se observan ejemplos de factores de *banding* cabe mencionar que en Italia se consideran los factores de *banding* para tecnologías menos maduras, por lo cual, no se asigna un factor a la solar fotovoltaica.

Tabla 2. Factores de *banding*. Fuente: [31]

Tecnología	Factor
Eólica On shore (>200 kW)	1.00
Eólica Off shore	1.50
Geotermia	0.90
Oceánica	1.80
Hidroenergía	1.30
Biomasa y biogás proveniente de agricultura	1.80
Otros tipos de desechos y biomasa	1.30

Pese a los esfuerzos por reforzar el mercado, el gobierno italiano decidió migrar a un esquema de contraprestación *Feed in Tariff* [32] debido al exceso de certificados tres años después de

¹⁰ Se refiere al precio límite que se asigna con el fin de reducir el riesgo del precio de los certificados para el generador[37].

su implementación y los altos costos que pagaban los usuarios en la tarifa final[33]. Al sustituir el esquema se realizaba un pago directo al generador por la electricidad producida a partir de ER's y el factor de banding que se tenía previsto en el mercado de certificados.

2.2.1.5 Estados Unidos de América

En Estados Unidos de América se implementó el mecanismo denominado “*Renewable Portfolio Standards (RPS)*” conocido comúnmente como obligaciones de energías renovables en los estados de Arizona y Nueva York [34], e incentivando a las empresas a cumplir con metas de generación, lo que dio pie a la implementación del mercado voluntario de certificados.

Los certificados se incluyeron en mayor medida cuando el proyecto implica un contrato de compra de energía a largo plazo. Así mismo la transacción de certificados se utilizó como una cobertura de riesgo al momento de revender los certificados a otros minoristas para el cumplimiento de sus metas [31]. Los certificados funcionaban como ingresos adicionales y beneficiaron principalmente a la tecnología eólica.

En mercados minoristas como el residencial y comercial se benefician instalaciones que tienen características de despacho similares a las convencionales, lo que ocasiona volatilidad en los precios por el costo de los combustibles.

Como en muchos países las variaciones en los precios de las ER's son impredecibles ya que dependen de factores políticos que a su vez afectan la oferta y demanda, lo cual implica que el precio es inestable para los inversionistas. Empero, cada estado puede establecer sus políticas públicas, tal que en algunos de ellos donde los contratos de electricidad renovable a largo plazo predominan como el modo de cumplimiento de *RPS* estatal, los impactos de tarifas minoristas son más difíciles de estimar debido a la confidencialidad de los términos contractuales y los desafíos de asociar transmisión e integración de los costos de compras individuales de energía renovable.

Las tecnologías que experimentaron un crecimiento rápido fueron la tecnología eólica y solar, las cuales se beneficiaron principalmente por los bajos costos de instalación en comparación con otras tecnologías [35].

También en Estados Unidos, algunos estados facilitaron las condiciones para que los pequeños generadores participaran en el mercado de certificados, aplicando protocolos accesibles para el monitoreo de su generación y proporcionando estímulos que incentivaran los sistemas en generación distribuida[36].

2.2.1.6 India

Finalmente, Asia no fue la excepción en la aplicación de certificados. En India durante sus inicios se reportó un volumen bajo de certificados emitidos y precios iniciales por cada certificado que equivale a 1MWh entre 30 y 60 USD [37]. Durante los primeros años de funcionamiento el diseño inicial de la política afectó al mercado en tres aspectos: ausencia de metas de generación a largo plazo, falta de cumplimiento de las metas de energía renovable y soporte inadecuado en los precios a largo plazo. Para reducir las distorsiones generadas se establecieron mecanismos para reducir su volatilidad como la bancabilidad, reservas, precio de piso y multiplicadores de crédito o bien como se conocen en inglés: *banking*¹¹, *set asides*¹², *cap floor* y *credit multipliers*¹³ diferenciando las tecnologías como: solar y no solar. Estadísticas de [31] indican que se incrementó la capacidad instalada de proyectos eólicos, solares y en menor medida pequeñas hidroeléctricas, biomasa y biocombustibles, los cuales participaron en el mercado de certificados. Los certificados se comercializaron a través de transacciones bilaterales y en menor medida en el esquema voluntario o el mercado centralizado.

2.2.2 Lecciones aprendidas

Se han realizado diversos esfuerzos para implementar el mercado de certificados como instrumento para alcanzar la reducción de GEI y de generación a las que se comprometieron

¹¹ La bancabilidad o *banking* de los certificados permite almacenar o inventariar los certificados para la existencia de mercados a largo plazo [37].

¹² Consisten en establecer objetivos para cada tecnología, de tal manera que no solo las tecnologías a menor costo se vean favorecidas en el mercado [37].

¹³ Proporcionan crédito adicional para las tecnologías preferidas, incentivando su instalación.

los países y en consecuencia la promoción de energías renovables. Sin embargo, cada país ha enfrentado diferentes barreras en la implementación que se han subsanado a través de diversas estrategias.

Entre las barreras que se identificaron se encuentran la volatilidad de los precios de los certificados, el despliegue de las tecnologías más competitivas, impactos financieros y dificultad de los pequeños productores en la participación del mercado. Cada una se ha contrarrestado con estrategias, ver Tabla 3.

Tabla 3. Barreras y acciones de mejora en el mercado de certificados para la promoción de ER. Fuente: Elaboración propia

Barreras	Acciones
Volatilidad de los precios	Bancabilidad Mercado voluntario Precio de piso o referencia
Beneficios a las tecnologías más competitivas	Franjas Multiplicadores de crédito
Dificultad de los pequeños productores para entrar al mercado	Facilitar procesos

Si bien en cierto que las barreras se han intentado remediar. No en todos los casos ha sido de manera exitosa, debido a que existen variables internas y externas que afectan la correcta operación del mercado. Las internas son la oferta y demanda, las multas establecidas, la vigencia de los certificados y el esquema de comercialización. Las externas son el entorno económico, la matriz energética, la regulación, la madurez tecnológica y el costo de generación.

Por ejemplo, En Reino Unido e Italia el mercado falló debido a la volatilidad de los precios, en el caso de Holanda el entorno económico en el cual se implementa el mercado de certificados ha influido de forma negativa reduciendo el interés por implementar tecnologías renovables, aunado a los posibles cambios políticos.

En Estados Unidos de América, India y Rumanía el mercado se ha mantenido en funcionamiento y en su mayoría han reducidos las distorsiones del mercado, pero nuevamente se atribuye en gran medida al entorno económico y político.

Por otro lado, se observa que las tecnologías que se benefician son la eólica, hidroeléctrica y solar a través de contratos de compra venta de electricidad a largo plazo. Esto debido a que un mercado se diseña pensando en el usuario, por lo que únicamente las tecnologías más competitivas son atractivas para invertir y por ende participar en el mercado.

De acuerdo con las experiencias internacionales el mercado de certificados puede generar beneficios adicionales y por ello convertirse en un esquema atractivo para invertir en renovables. Empero es un beneficio discreto [17] que no sólo depende del mercado y del entorno. También hay influencia de los instrumentos que se implementan en conjunto con el mercado de certificados tal como lo señalan [17], [20], [38].

Por lo tanto, para garantizar el correcto funcionamiento del mercado y por ende impulsar las ER se deben vigilar las variables internas y externas y cumplir con los requerimientos adecuados para su implementación sugeridas por [22], [39], ver (Tabla 4).

Tabla 4. Variables internas y externas que influyen en el mercado de certificados. Fuente: Elaboración propia

Internas	Externas
<ul style="list-style-type: none"> • Oferta y demanda • Multas establecidas en el incumplimiento de las obligaciones • Vigencia de los certificados • Esquema de comercialización • Correcta verificación y registro de los certificados en el mercado • Conteo de los certificados • Retiro de circulación del mercado de los certificados 	<ul style="list-style-type: none"> • El entorno económico • Matriz energética • La regulación • Madurez tecnológica • Costo de generación

<ul style="list-style-type: none">• Transparencia en los procesos de comercialización• No incluir costos adicionales por gestión o acceso al mercado• Flexibilidad en las reglas del mercado	
--	--

Capítulo 3. Sector eléctrico mexicano

En el capítulo anterior se mencionó que el mercado de certificados de energía limpia (CEL) puede funcionar como un mecanismo para incentivar la implementación de fuentes de energía renovable (ER's), que se realiza en paralelo al mercado eléctrico y se encuentra influenciado por variables internas y externas, como pueden ser: los cambios regulatorios, de mercado y/o tecnológicos [40].

Es por ello, que en este capítulo se expone el nuevo marco regulatorio del sector eléctrico, a través del cual se describe la estructura del mercado, se identifican los actores principales y la evolución de las ER's.

3.1 Nueva estructura del mercado eléctrico

México ha mostrado un compromiso activo en la incorporación de la perspectiva climática al sector energético, se ha alineado con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, ratificó acuerdos y retomó las tendencias de política energética a nivel internacional y las mejores prácticas para encaminar al país hacia el desarrollo sustentable.

Resultado de ello, se comprometió a reducir 25% de sus emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y generar el 35% de electricidad a partir de energías limpias (la cual se deberá alcanzar en el año 2024) [1], contribuir al desarrollo nacional y tecnológico a través de acelerar los mercados energéticos.

En este contexto se realiza la reforma energética en el año 2013, dentro de la cual se llevaron a cabo modificaciones a las disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en los Artículos: 25 párrafo cuarto, 27 párrafo sexto y 28 párrafo cuarto [41], se

¹⁴ Artículo escrito por Enrique Krauze dedicado a la vida y obra de Víctor L. Urquidí [77].

establecieron leyes que reglamentan la reforma y una serie de disposiciones para la regulación del sector eléctrico e hidrocarburos; conformando una estructura del mercado liberalizada, que contribuye a la promoción de energías limpias, el cuidado del ambiente y la vigilancia de temáticas sociales.

El paquete de las leyes secundarias, incluye la Ley de la Industria Eléctrica (LIE) que entró en vigor en 2014 y señala los procedimientos, reglas y disposiciones que se deben llevar a cabo en el sector eléctrico [1] y atiende a la estructura indicada en la Figura 4. En sus objetivos incluye promover el desarrollo sustentable de la industria eléctrica, garantizar su operación continua [42] e incrementar su competitividad [43].

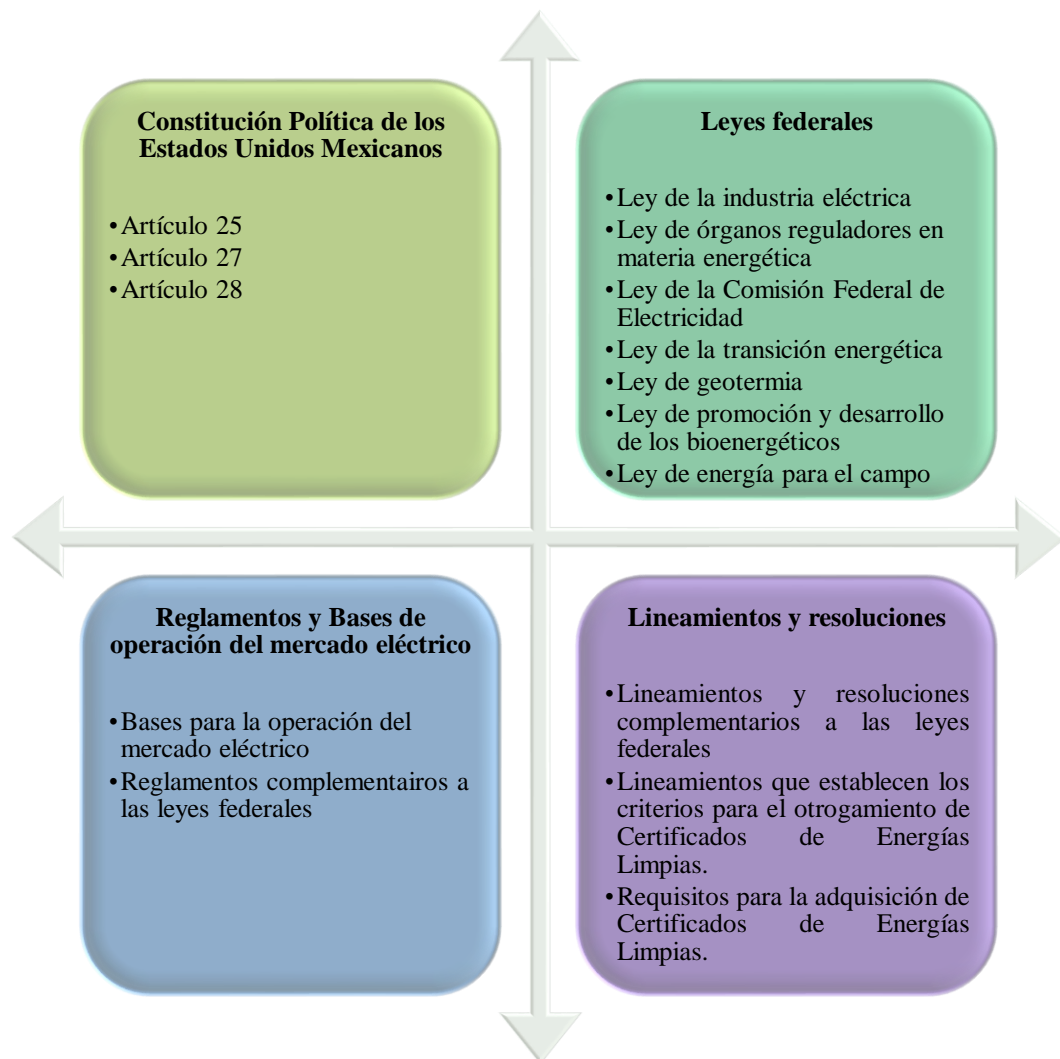


Figura 4. Esquema de la estructura de la legislación vigente aplicable al sector eléctrico mexicano y a las ER. Fuente: Elaboración propia

Los aspectos más relevantes de la legislación referente al sector eléctrico señalan:

- La liberalización del mercado eléctrico
- Transformación de la Comisión Federal de Electricidad (CFE)
- Creación del Mercado Eléctrico Mayorista (MEM)
- Asignación de actividades de los órganos reguladores de energía
- Separación del Centro Nacional de Control de Energía (CENACE)
- Definir el término energías limpias
- Establecer metas de generación a partir de energías limpias
- Establecer un mercado de CEL
- Creación del fondo de servicio universal eléctrico
- Regulación referente a generación distribuida
- Regulación referente al impacto ambiental y social de los proyectos energéticos

Lo anterior, permite migrar de un esquema vertical en donde los generadores privados operaban de forma limitada a través de permisos en la modalidad de: producción independiente de energía, autoabastecimiento, cogeneración, pequeña producción, importación y exportación. Debido a que, la CFE únicamente desarrollaba todas las actividades de la cadena de comercialización y generación de electricidad [44].

En el nuevo esquema de libre competencia, la CFE se transforma en una empresa productiva del estado, se elimina el monopolio eléctrico y permite a generadores privados y a grandes consumidores participar en el mercado, estableciendo un gobierno corporativo.

Además, permite impulsar la eficiencia del mercado para el empleo de tecnologías que reducen las emisiones de gases de efecto invernadero y que permiten electrificar zonas rurales marginadas.

3.1.1 Comisión Federal de Electricidad como empresa productiva del estado

Una empresa productiva del estado se define como aquella que se encuentra bajo la propiedad del estado y que genera valor económico, con el objetivo de otorgar un beneficio público a través de sus ganancias funcionar apropiadamente[44].

La transformación de la CFE a empresa productiva del estado implica que es propiedad exclusiva del Gobierno Federal [1]. Así mismo, la independencia permite que la CFE lleve a cabo la separación contable, estructural y funcional para desarrollar sus actividades a través de subsidiarias.

En este esquema la CFE se encarga de prestar el servicio público de energía eléctrica [1] de forma autónoma y siendo sólo la CFE la responsable de la distribución y transmisión del Sistema Eléctrico Nacional (SEN), así como del suministro básico; ya que se considera como un servicio público, actividad a cargo del Estado. De la misma manera las de planeación y control del SEN son actividades propiamente del Estado [45].

En su reorganización se crean 6 subsidiarias de generación de electricidad, una subsidiaria para administrar a los Productores Independientes de Energía (PIE), una filial de generador de intermediación, una subsidiaria de transmisión y una de distribución, una subsidiaria de suministro básico y de suministro calificado, una filial de energía y una filial internacional [46].

Las filiales y subsidiarias representan a las centrales eléctricas, participan en los mercados de manera independiente, acceden a capacidad de transporte de combustibles para sus centrales y celebrar contratos. Sin embargo, no podrá haber intercambio de información o incurrir en actos que contradigan los términos para la estricta separación legal de la CFE.

A continuación se describen las funciones de las subsidiarias y filiales de la CFE[47]:

- Subsidiarias de CFE Generación: su objetivo es generar energía eléctrica con cualquier tecnología y realizar actividades de suministro eléctrico.

- Subsidiaria de CFE Transmisión: realiza actividades para prestar el servicio de transmisión, así como, el financiamiento, instalación, mantenimiento, gestión, operación y ampliación de la infraestructura de transmisión.
- Subsidiaria de CFE Distribución: realiza actividades para prestar el servicio de distribución, así como, el financiamiento, instalación, mantenimiento, gestión, operación y ampliación de la infraestructura de distribución.
- Filial de CFE Suministro básico: provee el suministro básico en favor de cualquier persona que lo solicite.
- Filial de CFE Suministro calificado: provee el servicio de energía eléctrica a los usuarios calificados y los representa ante el CENACE. La energía que vende CFE Suministro calificado la compra en el MEM.
- Filial de Intermediación de contratos legados: La filial administra los contratos de interconexión legados, los convenios de compra –venta de excedentes de energía y otros contratos con los que cuenta la CFE.
- Filial de CFE Energía: comercializa los insumos primarios para la generación de la CFE, así como de industriales, petroquímica y a otros generadores.
- Filial de CFE internacional: participa en el mercado internacional de combustibles y energía.
- Unidad de negocios generación nuclear: el principal objetivo de la unidad es administrar la central nucleoelectrica de Laguna Verde y los posibles proyectos que se puedan dar a futuro.

3.1.2 Marco institucional

Las instituciones encargadas de la planeación, control y regulación del sector eléctrico son: la Secretaría de Energía (SENER), la Comisión Reguladora de Energía (CRE), el Centro Nacional de Control de Energía (CENACE) y la Agencia de Seguridad, Energía y Ambiente (ASEA).

Los organismos cuentan con el respaldo de la Secretaría de Economía (SE), la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHyCP); quienes apoyan de forma transversal para la elaboración de políticas en

materia energética desde el punto de vista económico, ambiental y social. Así como la vigilancia del cumplimiento de las disposiciones (Tabla 5).

Tabla 5. Instituciones integrantes del sector eléctrico. Fuente: Elaboración propia

Actividad	Planeación	Control	Regulador	Transversales
Autoridad	SENER	CENACE	CRE ASEA	SE SEMARNAT SHyCP

A continuación, se enuncian las principales actividades de las instituciones rectoras del sector:

- **Secretaría de Energía (SENER).** Es el órgano de gobierno que se encarga de establecer la política energética del país a través de la elaboración de estrategias, ejecutar planes de acción y vigilar el cumplimiento de estas, elaborar reportes y prospectivas del sector energético mexicano y coordinar a los demás órganos creados para la regulación de los distintos sectores energéticos.

La SENER es la responsable de emitir las reglas del mercado, las definiciones concernientes a las centrales eléctricas, así como la elaboración de programas para las centrales eléctricas. También fomenta los créditos y financiamientos para Centrales de Generación, establece las obligaciones de cobertura en el servicio eléctrico, expide las sanciones correspondientes en términos de la LIE y evalúa al CENACE en conjunto con la CRE[1].

- **La Comisión Reguladora de Energía (CRE).** Es el órgano que otorga los permisos para generación de energía, establece los criterios del mercado eléctrico y los que son aplicables a los generadores, expide las tarifas y precios máximos para los suministradores. Autoriza y delimita las operaciones del mercado eléctrico, así como los modelos de contrato de interconexión de centrales de energía y centros de carga que celebre el CENACE.

Así como autorizar los criterios técnicos de interconexión de expedidos por el mismo. Elabora las bases normativas para autorizar unidades de inspección especializadas en centrales eléctricas de generación distribuida, en este sentido la CRE se encuentra facultada para resolver los conflictos que genere el incumplimiento de las especificaciones para generación de energía [1].

Además, tiene la intervención en la cadena de valor del sector hidrocarburos, con excepción de exploración y producción.

- **Centro Nacional de Control de Energía (CENACE).** El Centro Nacional de Control de Energía fue creado en la LIE con la consigna de operar el mercado eléctrico. Cabe señalar que se encuentra descentralizado de la administración pública federal y es el encargado de establecer las condiciones operativas y las reglas para la compra-venta de energía, facturar los servicios conexos que no se incluyen en el mercado eléctrico, y llevar un registro de los generadores, centrales eléctricas y centros de carga.

También formula las características técnicas y contratos que se deben cumplir para interconexión (los cuales deben de contar con la autorización de la CRE), plantear un programa periódico para la operación de las centrales y vigilar el cumplimiento de los lineamientos de la LIE, así como instruir acerca de los procesos de contratos y contar con un módulo de Sistema de Información del Mercado[1].

- **Agencia de Seguridad y Medio Ambiente (ASEA).** La ASEA es un órgano desconcentrado de la SEMARNAT que regula y supervisa la seguridad industrial, operativa y protección al ambiente del sector hidrocarburos[48]. Su principal finalidad es promover, aprovechar y desarrollar de manera sustentable las actividades del sector[49].

3.1.3 Comercialización

El Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) es un mercado a través del cual se pueden desarrollar actividades de comercialización de energía y productos asociados con base en las reglas de operación del mercado y pueden ser realizadas por diferentes actores denominados “participantes” [43], quienes de acuerdo con las bases del MEM podrán intervenir en: el mercado a corto plazo, el mercado para el balance de potencia, mercado de certificados de energías limpias, las subastas de derechos financieros de transmisión y las subastas de mediano y largo plazo (Figura 5).

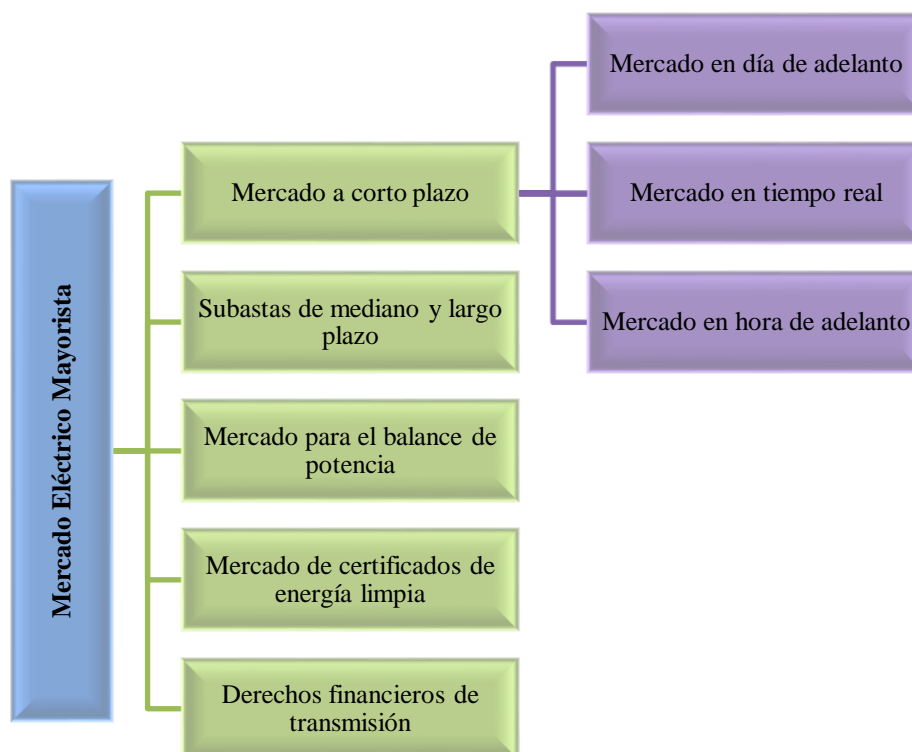


Figura 5. Esquema de la estructura del mercado eléctrico mayorista. Fuente: Elaboración propia

Mercado a corto plazo: En el mercado a corto plazo se asignan las plantas más eficientes, en este caso las centrales de energía limpia hasta que se satisfaga la demanda en un momento dado [1]. La última planta en ser despachada fija el precio marginal local (PML) que se determina de acuerdo con el tipo de tecnología empleada y le es pagado al generador por cada MWh.

Mercado en día de adelanto: El mercado permite a los participantes presentar ofertas de compra-venta hasta las 10 a.m. el día previo a la operación a través de un mercado en dos

etapas: en la primera etapa los participantes ofertan únicamente (MW) y la ubicación, el mercado de segunda etapa permite al participante especificar la cantidad y precio por hora, límite mínimo en la energía diaria, capacidad de rampa, tiempos de notificación y ubicación.

Mercado en tiempo real: los participantes presentan ofertas de compra venta a partir de la demanda en tiempo real, al menos con 15 minutos antes de cada hora de operación.

Mercado a mediano plazo: El mercado a mediano plazo permite participar a todas las plantas de generación independiente al tipo de tecnología de generación y podrá vender potencia para las horas pico de demanda y energía a precios regionales fijos. Así como a los suministradores para la compra de energía y potencia.

Mercado a largo plazo: Los generadores presentan ofertas de venta, el ingreso deseado y un paquete de productos que puede ser: energía y potencia (15 años) y CEL (20 años) de acuerdo con los requisitos que establezca la CRE; tal que, aquellos participantes que celebren este tipo de contratos obtendrán ingresos estables a largo plazo.

Abasto aislado: Se entiende por abasto aislado a la generación destinada a usos propios en redes privadas cuyas plantas sean mayores a 0.5 MW y la electricidad no se transmita en la red nacional de transmisión y distribución.

Generación distribuida: La generación distribuida se define en la LIE en el título Primero, Capítulo I, Art. 3ro, fracción XXIII como la generación de energía eléctrica que cumple con las siguientes características[1]:

- Se realiza por un Generador Exento¹⁵ en los términos de esta Ley, y se realiza en una Central Eléctrica que se encuentra interconectada a un circuito de distribución que contenga una alta concentración de Centros de Carga, en los términos de las Reglas del Mercado.

¹⁵ Es el propietario. de una o más centrales eléctricas, cuya generación es menor a 0.5 MW, que no requiere permiso de la CRE para generar energía eléctrica, en términos de la LIE[1].

El generador exento es el propietario o poseedor de una o varias Centrales Eléctricas que no cuenten con un permiso previo para generar energía eléctrica. Las centrales consideradas tienen una generación menor a 0.5 MW. En el caso de las centrales que ya cuentan con permisos en términos de la ley anterior se clasifican como: centrales eléctricas legadas y centrales eléctricas externas legadas.

Las centrales eléctricas legadas son aquellas que estaban en operación por parte de los organismos, entidades o empresas del Estado a la fecha de entrada en vigor de la LIE, el 11 de agosto de 2014 y estaban previstas en el presupuesto de egresos de la federación a la entrada en vigor de la LIE.

Por su parte, las centrales eléctricas externas legadas son aquellas que tienen un permiso de productor independiente de energía y fueron incluidas en el presupuesto de egresos de la federación en modalidad de inversión condicionada

El generador exento puede generar para usos propios o bien vender su energía y productos asociados a través de un suministrador de servicios calificados y básicos (titular de un permiso ante la CRE) bajo contrato y esquema de contraprestación. Por otro lado, el generador exento puede vender energía eléctrica de un tercero a un usuario final, siempre y cuando se genere por GD y dentro de las instalaciones del usuario.

3.1.4 Precios del MEM

Los precios del MEM son precios nodales que se calculan en cada nodo del sistema con base en 3 componentes: energía, congestión y pérdida.

Un NodoP o nodo de fijación de precios corresponde a uno o varios nodos de conectividad de la red, donde se modela la inyección o retiro físico de energía y para el cual se determina el Precio Marginal Local (PML) para las liquidaciones financieras en el MEM.

Entre los precios destacan los precios a corto y largo plazo:

- Precios en el corto plazo los precios son variables por lo que los costos fijos de las centrales se pueden cubrir con Potencia y CEL, así mismo los precios varían dependiendo la zona.
- Los precios a largo plazo se firma un contrato en donde se pacta el precio y duración del servicio entre generadores y usuarios calificados y suministradores que se denominan contratos de cobertura eléctrica.

3.1.5 Participantes

Los participantes del MEM son: generador, suministrador, distribuidor y usuario final; se dividen en diversas categorías y cada uno de ellos tiene derechos y obligaciones distintas, así como maneras de participación determinadas que dependen de la actividad que puedan desempeñar.

3.1.5.1 Generador

El generador es el titular de uno o varios permisos ante la CRE que representan a las centrales eléctricas cuya capacidad es mayor a 0.5 MW [50] y pueden participar en la venta de energía directamente en el MEM o bien celebrar un contrato con un suministrador o un usuario calificado.

Por otro lado, existe la figura de generador exento y es aquel que no requiere un permiso de generación y es propietario de una o varias centrales eléctricas con capacidad instalada menor a 0.5 MW (generación distribuida). El generador exento puede ser representado en el MEM por un suministrador o un revendedor que cuente con un permiso para vender electricidad.

3.1.5.2 Suministrador

El suministrador es el titular de un permiso para ofrecer suministro eléctrico al usuario calificado o final. Existen tres categorías de suministro: suministrador de servicios básicos, suministrador de servicios calificados y suministrador de último recurso.

Suministrador de servicios básicos. El suministrador de servicios básicos se refiere al que provee el servicio eléctrico bajo regulación tarifaria, siempre y cuando no sea usuario calificado de acuerdo con el Art. 3 Fracc. XLIX de la LIE.

Los suministradores de servicios básicos ofrecerán el suministro básico a todas las personas que lo soliciten y cuyos centros de carga se encuentren ubicados en las zonas donde operen, siempre que ello sea técnicamente factible y cumpla con las disposiciones aplicables, en condiciones no indebidamente discriminatorias a excepción de los usuarios calificados.

Suministrador de servicios calificados. El Art. 3 Frac. XLVI de la LIE señala que el suministrador de servicios calificados es aquel que provee electricidad en un régimen de libre competencia a los usuarios calificados, registrados en la CRE.

Suministrador de último recurso. Permite cubrir el suministro eléctrico bajo precios máximos a los usuarios calificados por un tiempo limitado en caso de interrupción. Los suministradores de último recurso ofrecerán el suministro de último recurso a todos los usuarios calificados que lo requieran y cuyos centros de carga se encuentren ubicados en las zonas donde operen, siempre que ello sea técnicamente factible y cumpla con las disposiciones aplicables, en condiciones no indebidamente discriminatorias. En caso de que los suministradores de servicios básicos o los suministradores de último recurso nieguen o dilaten el suministro eléctrico, la CRE determinará si existe causa justificada para ello.

3.1.5.3 Distribuidor

El distribuidor es la empresa productiva del Estado que se encarga de prestar el servicio público de distribución y de actualizar los programas de ampliación y modernización de la red de distribución y transmisión en conjunto con el CENACE.

En términos de la ley de la CFE el Art. 4 establece a la CFE como la encargada de garantizar el acceso abierto a la red, así como de celebrar los contratos si es el caso con empresas subsidiarias para realizar las actividades de distribución o bien crear ese tipo de empresas para realizar dicha actividad.

3.1.5.4 Usuario final

Los usuarios finales se dividen en básico y calificado, su clasificación depende del sector a tratar.

Usuario suministro básico. Los usuarios básicos son todos aquellos que no se encuentran registrados ante la CRE como usuarios calificados y no pueden participar en el MEM, la compra de electricidad es a través de suministradores de servicio básico a un precio regulado [51].

Los usuarios se dividen en: residencial, comercial, servicios, agrícolas e industriales de mediana y gran escala.

Usuario Calificado. El usuario calificado es aquel que cuenta con grandes centros de carga: de más de 2MW hasta agosto de 2016 y más de 1 MW después de esa fecha, el cual deberá estar registrado ante la CRE o aquellos centros de carga al amparo de contratos legados. Los usuarios calificados pueden participar en el MEM directamente o a través de un suministrador de servicios calificados.

En modalidad directa lo pueden hacer a través del mercado en día de adelanto o en tiempo real, así como firmar contratos con generadores que les permiten adquirir electricidad a un precio pactado o bien al ser representado por un suministrador de servicios calificados.

3.2 Energías renovables

La transición energética es un camino hacia la descarbonización del sector eléctrico y en su mayoría las ER's representan uno de los pilares para alcanzarla [1], además cada vez son más los sectores que apuestan por las ER's gracias a los beneficios económicos, ambientales y sociales de los proyectos.

A continuación, se describe el potencial, capacidad instalada, generación, precios y tendencias en la implementación de ER's en México.

3.2.1 Definición

La Ley de Transición Energética (LTE) señala que las ER's son aquellas cuya fuente reside en fenómenos de la naturaleza, procesos o materiales susceptibles de ser transformados en energía aprovechable por el que se regeneran naturalmente, por lo que se encuentran disponibles de forma continua o periódica, y que al ser generadas no liberan emisiones contaminantes.

Entre ellas destacan: el viento; la radiación solar, en todas sus formas; el movimiento del agua en cauces naturales o en aquellos artificiales con embalses ya existentes, con sistemas de generación de capacidad menor o igual a 30 MW o una densidad de potencia, definida como la relación entre capacidad de generación y superficie del embalse, superior a 10 W/m^2 ; la energía oceánica en sus distintas formas, a saber: de las mareas, del gradiente térmico marino, de las corrientes marinas y el gradiente de concentración de sal; el calor de los yacimientos geotérmicos, y los bioenergéticos.

Cabe mencionar que bajo el marco regulatorio y legislativo actual se interpreta que las energías renovables y no renovables se incluyen en la definición de fuentes de energía limpia [52], ver Figura 6. Sin embargo, para efectos del presente trabajo se emplea la definición de la Ley de Transición Energética (LTE).

El término energía limpia se estipula en la LIE e indica que las fuentes de energía limpia son aquellas cuyas emisiones o residuos, cuando los haya, no rebasen los umbrales establecidos en las disposiciones reglamentarias que para tal efecto se expidan[53]. Es decir, que por cada MWh generado deberán ser menores a los 100 kg de toneladas de CO_2 por cada MWh.

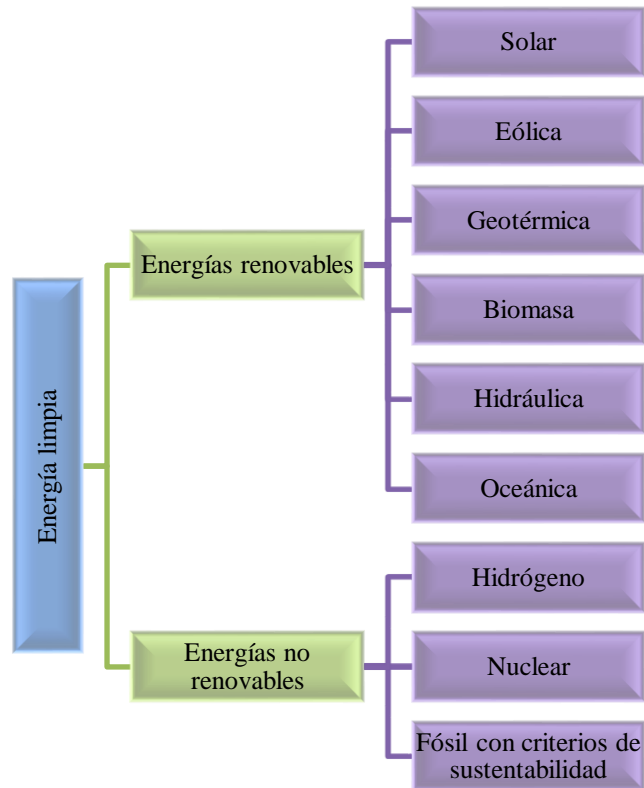


Figura 6. Diagrama de la clasificación de energía limpia, renovable y no renovable. Fuente: [54]

3.2.2 Potencial

De acuerdo con el Inventario Nacional de Energías Renovables (INERE), el potencial para el aprovechamiento de electricidad a partir de energías renovables se clasifica como: probable, posible y probado [54].

- El potencial probable cuenta con estudios de campo que identifica la presencia de recursos, pero no son suficientes para evaluar la factibilidad técnica y económica.
- El potencial posible es el valor teórico de los recursos pero que no cuenta con estudios para evaluar factibilidad técnica y posibles impactos.
- El potencial probado, aquél que cuenta con estudios de factibilidad técnica y económica.

Actualmente, México cuenta con recurso eólico probado en el orden de 19,805 GWh/a en eólica; 16,351 GWh/a en solar; hidráulica, 4,796 GWh/a; geotérmica 2,355 GWh/a, y biomasa 2,396 GWh/a[54].

El potencial probable es de 23,028 GWh/a en hidráulica; 45,207 GWh/a en geotérmica, y 391 GWh/a en biomasa. Finalmente, el potencial posible en eólica es de 87,000 GWh/a; solar 6, 500,000 GWh/a; hidráulica 44,180 GWh/a; geotérmica 52,013 GWh/a, y 11,485 GWh/a (Ver Tabla 6) [54].

Lo anterior indica que México cuenta con recurso potencial con miras al empleo de diversos tipos de tecnologías para enfrentar los desafíos a los que se enfrenta el sector eléctrico, situando el recurso eólico y solar como los más atractivos, tomando en consideración el recurso probado.

Tabla 6. Potencial de generación eléctrica con energías renovables en México (GWh/a). Fuente: [54]

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

3.2.3 Capacidad instalada

La matriz energética en México se compone por centrales convencionales y limpias que permiten satisfacer el consumo eléctrico nacional que corresponde a 309,727 GWh/a en 2017 [55] y que ha incrementado a razón de 2.6% anual entre 2007 y 2017. Entre las centrales convencionales se encuentran [56]:

- Ciclo combinado
- Temoeléctricas
- Carboeléctricas
- Turbogás
- Combustión interna
- Lecho fluidizado

Por otro lado, las centrales limpias incluyen centrales renovables como:

- Hidroeléctricas
- Eólica
- Geotérmica
- Solar
- Bioenergía
- Nuclear
- Cogeneración eficiente
- Frenos regenerativos

Entre 2016 y 2017 la capacidad instalada para generación eléctrica a partir de ER's creció aproximadamente 6.98%, dicha capacidad ha sido instalada en distintas modalidades de permisionarios previos y post reforma, hasta alcanzar en 2017 un total de 22,327.40 MW instalados a partir de fuentes de energía limpia, lo cual representa el 29.5% de la matriz energética y 53,357.88 MW instalados de centrales convencionales que representa el 70.37% [56], ver

Figura 7. Cabe mencionar que el 25% del total de energías limpias corresponde a las fuentes de energía renovable que aportan 19,436.69 MW a la generación eléctrica.

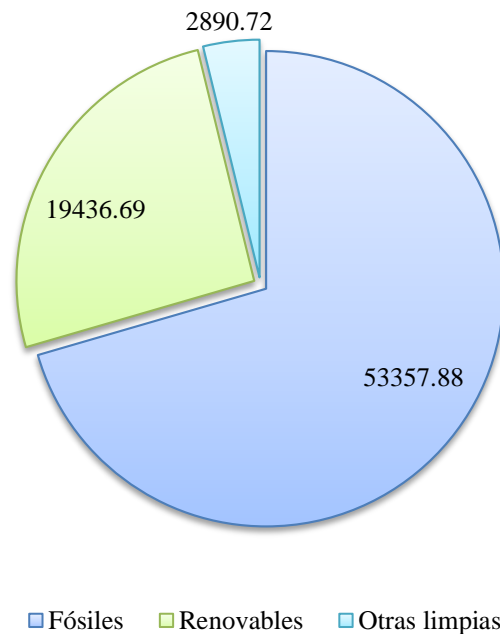


Figura 7. Gráfica de la capacidad instalada en 2017 (MW). Fuente: Elaboración propia con datos de [56]

Particularmente, la evolución de la capacidad instalada de las centrales de energía renovable (Figura 8) indica que la energía solar y eólica son las fuentes que presentan el crecimiento más importante del 2012 a 2015, alcanzando a 2017 un total de 45 centrales solares y 23 centrales eólicas¹⁶ instaladas.

Por otro lado, las centrales hidroeléctricas, biogás, bagazo de caña y geotermia no han experimentado cambios significativos pero su instalación no ha sido mermada. Finalmente, las centrales convencionales han experimentado un incremento constante, en particular las centrales de ciclo combinado y combustión interna.

¹⁶ La cifra no considera las centrales instaladas en la modalidad de generación distribuida.

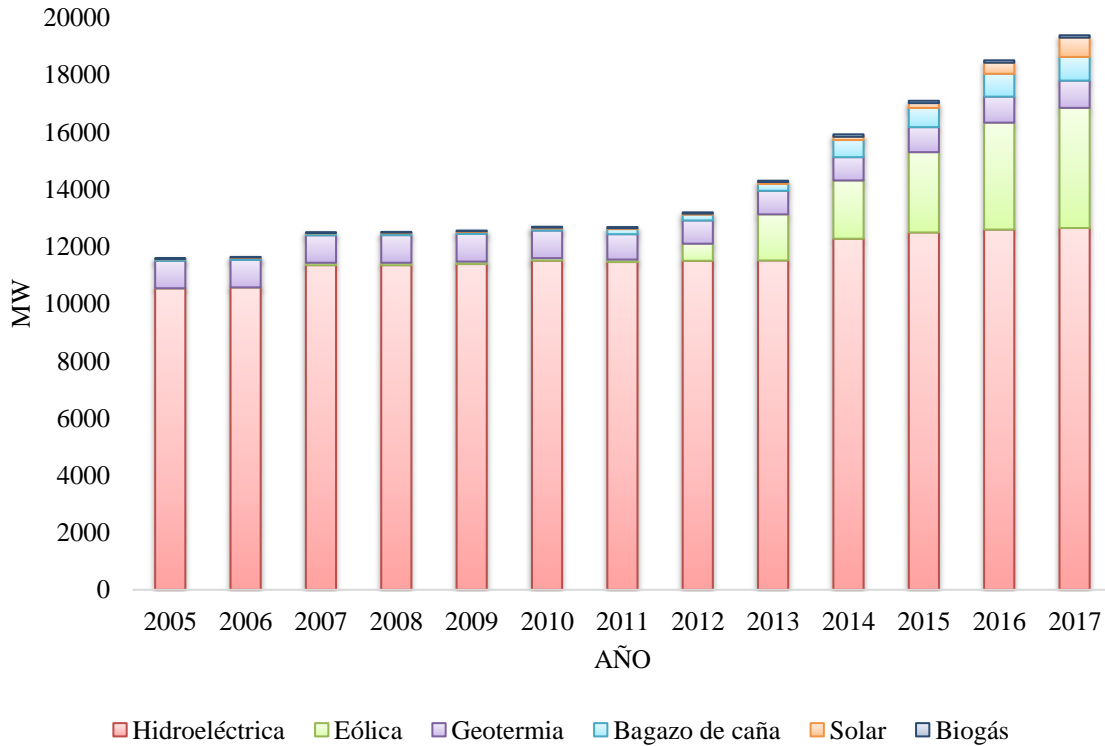


Figura 8. Gráfica de la evolución de la capacidad instalada de ER para generación eléctrica, 2005-2017.
Fuente: Elaboración propia con datos de [57]. Los datos actuales incluyen estadísticas de contratos a gran escala y generación distribuida. Los datos pueden variar con respecto a bases de datos nacionales debido a su clasificación

3.2.4 Generación

La generación eléctrica en México en 2017 ascendió a 329,162 GWh de energía eléctrica, el 78% proviene de tecnologías convencionales y el 21.1% de energías limpias. La Figura 9 muestra la evolución positiva de la generación eléctrica de ER entre 2005 y 2017. De tal manera que las centrales hidroeléctricas encabezan la generación en el rubro de energías renovables, seguido por la eólica que ha experimentado crecimiento significativo entre 2011 y 2017, seguido por la energía solar, cabe mencionar que la energía solar ha tenido mayor participación en la generación eléctrica en la modalidad de generación distribuida. Sin embargo, las centrales convencionales siguen a la cabeza y su crecimiento no ha sido mermado, por lo que a 2017 la generación ascendió a 259,766 GWh.

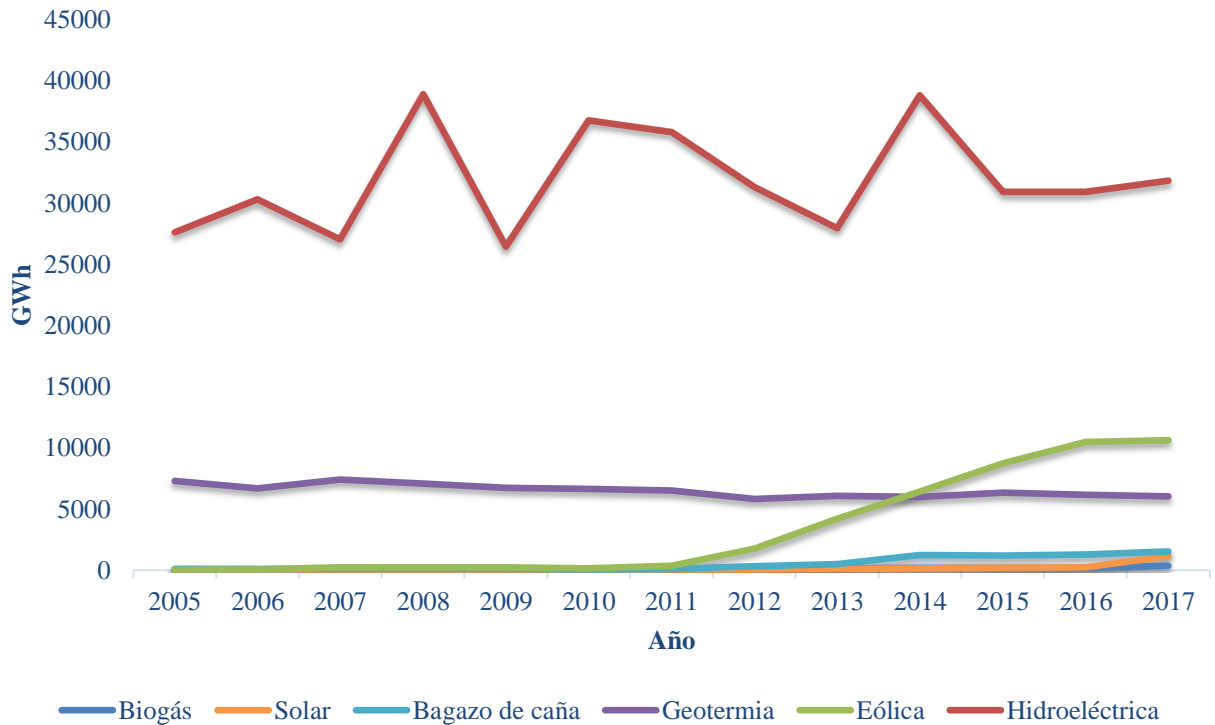


Figura 9. Gráfica de la evolución de la generación eléctrica a partir de ER, 2005-2017. Fuente: Elaboración propia con datos de [57]. Los datos actuales incluyen estadísticas de contratos a gran escala y generación distribuida. Los datos pueden variar con respecto a bases de datos nacionales debido a su clasificación

3.2.5 Costo nivelado de energía

Para realizar la comparación y evaluación de la competitividad de las centrales ER's con base en la tecnología se realiza el cálculo del costo nivelado de energía (LCOE, por sus siglas en inglés). El LCOE permite conocer el costo por kWh generado a lo largo del ciclo de vida de la tecnología. Si bien esta metodología puede tener limitaciones en la región de aplicación y por ende los parámetros económicos empleados; sin embargo, puede ser utilizado como una primera aproximación entre los diversos tipos de centrales[58].

El LCOE de las ER es menor en la geotermia, eólica, solar y biomasa, como se muestra en la Figura 10. Por su parte, [59] señala que el LCOE de la energía solar oscila entre 79-120 USD/MWh y en el sector eólico se registran valores entre 49-80 USD/MWh, posicionándolas entre las fuentes más competitivas[60].

A pesar de que los costos de las ER han disminuido en los últimos 7 años el LCOE de las fuentes convencionales, en particular el gas natural que se emplea en los ciclos combinados oscilan entre 59-83 USD/MWh. Bajo este escenario se reflejan las preferencias de ciertos tipos de fuentes de acuerdo al costo de implementación.

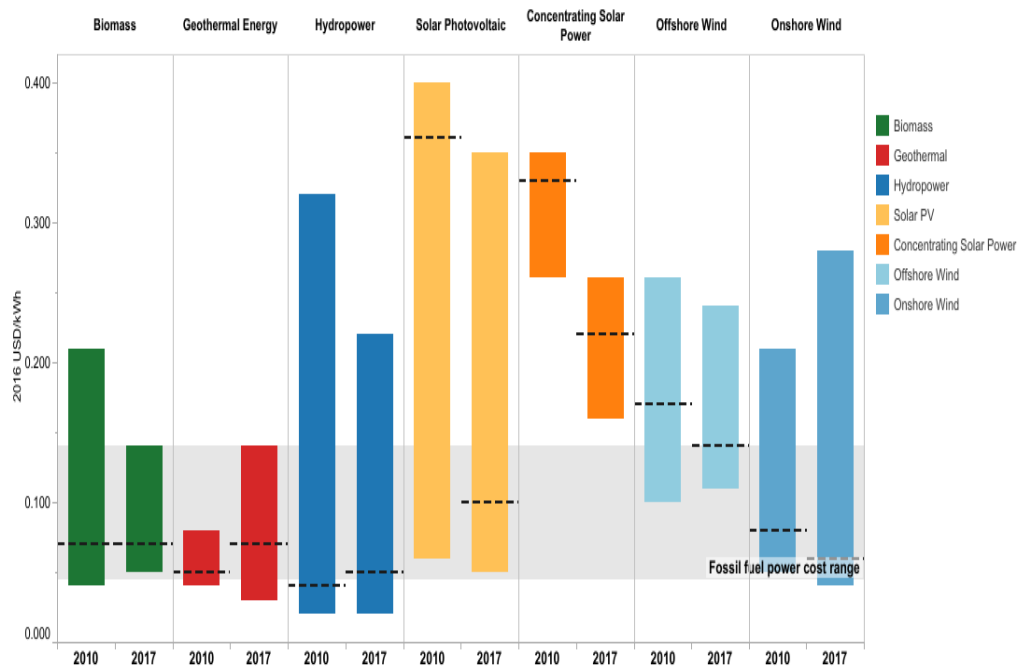


Figura 10. Gráfica de los costos nivelados de energía. Fuente: [61]

“Rely on renewable energy flows that are always there whether we use them or not, such as, sun, wind and vegetation: on energy income, not depletable energy capital”

-Amory Lovins

Capítulo 4. Certificados de energía limpia en México

El presente capítulo describe el mercado actual de los certificados de energía limpia (CEL) en México y es considerado como el fundamento teórico principal de la tesis. El capítulo proporciona una introducción al marco legal y regulatorio¹⁷ que determina el funcionamiento del mercado y puntualiza en los siguientes aspectos: la definición de los CEL, los participantes del mercado, los órganos reguladores, la dinámica del mercado, el proceso de emisión, adquisición, obligaciones, penalizaciones y procesos administrativos. Finalmente, se proporciona el estado actual del mercado de CEL en México.

4.1 Marco legal y regulatorio

El mercado de CEL se encuentra regulado por la Ley de la Industria Eléctrica (LIE), las bases del Mercado eléctrico Mayorista (MEM), los lineamientos y los avisos de los requisitos para la adquisición de CEL. Su creación es consecuencia de la reforma energética y las regulaciones complementarias.

Los instrumentos legislativos y regulatorios que permiten la operación del mercado de CEL describen las definiciones, atributos, modalidades de comercialización y por ende la dinámica de mercado de CEL, como se muestra en la Figura 11. Además de los procesos y órganos encargados de verificar y dar seguimiento al mercado desde la emisión, adquisición, obligaciones, penalizaciones y los procesos administrativos involucrados.

A continuación, se resumen el o los ámbitos que regula cada uno de los instrumentos:

¹⁷ Entiéndase por marco legal el conjunto de leyes, reglamentos y bases que delimitan las formas y modalidades legales para operar [78]. Por otro lado, el marco regulatorio se refiere al conjunto de normas jurídicas, políticas, procedimientos y mecanismos de aplicación[79].

- La LTE regula los procesos para el aprovechamiento sustentable de la energía, las obligaciones asociadas al uso de energías limpias y la reducción de emisiones en la industria eléctrica. Incluye las definiciones de energías limpias y energías renovables¹⁸, las funciones de los organismos institucionales para verificar el cumplimiento de las metas, los instrumentos y estrategias que se deben elaborar para garantizar el aprovechamiento sustentable de energía, el objetivo de los fondos destinados a la transición energética y los aspectos claves para incentivar la inversión en la generación eléctrica a partir de fuentes de energía limpia, la investigación científica y desarrollo tecnológico.
- La LIE reglamenta las modificaciones de los artículos 25, 27 y 28 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos y la planeación y control de todas las actividades que involucra la industria eléctrica: generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica, planeación y control del Sistema Interconectado Nacional (SIN), así como la operación del MEM y otros mercados subyacentes. Por su parte el reglamento de la LIE incluye definiciones y disposiciones adicionales para interpretar la LIE.
- Las bases del MEM son las normas que integran los principios de diseño y operación del MEM con base en la LIE. Las bases explican la naturaleza del mercado, las definiciones, clasificación, etapas, guías operativas, los participantes, el papel de las instituciones responsables de garantizar la operación del MEM y los criterios administrativos. También menciona los principios y reglas para el acceso al MEM y al SIN y las reglas de interpretación de las bases y los manuales.
- Los lineamientos de los CEL son las definiciones y criterios para otorgar los CEL.

¹⁸ Se sugiere homologar las definiciones para evitar confusiones o ambigüedades.

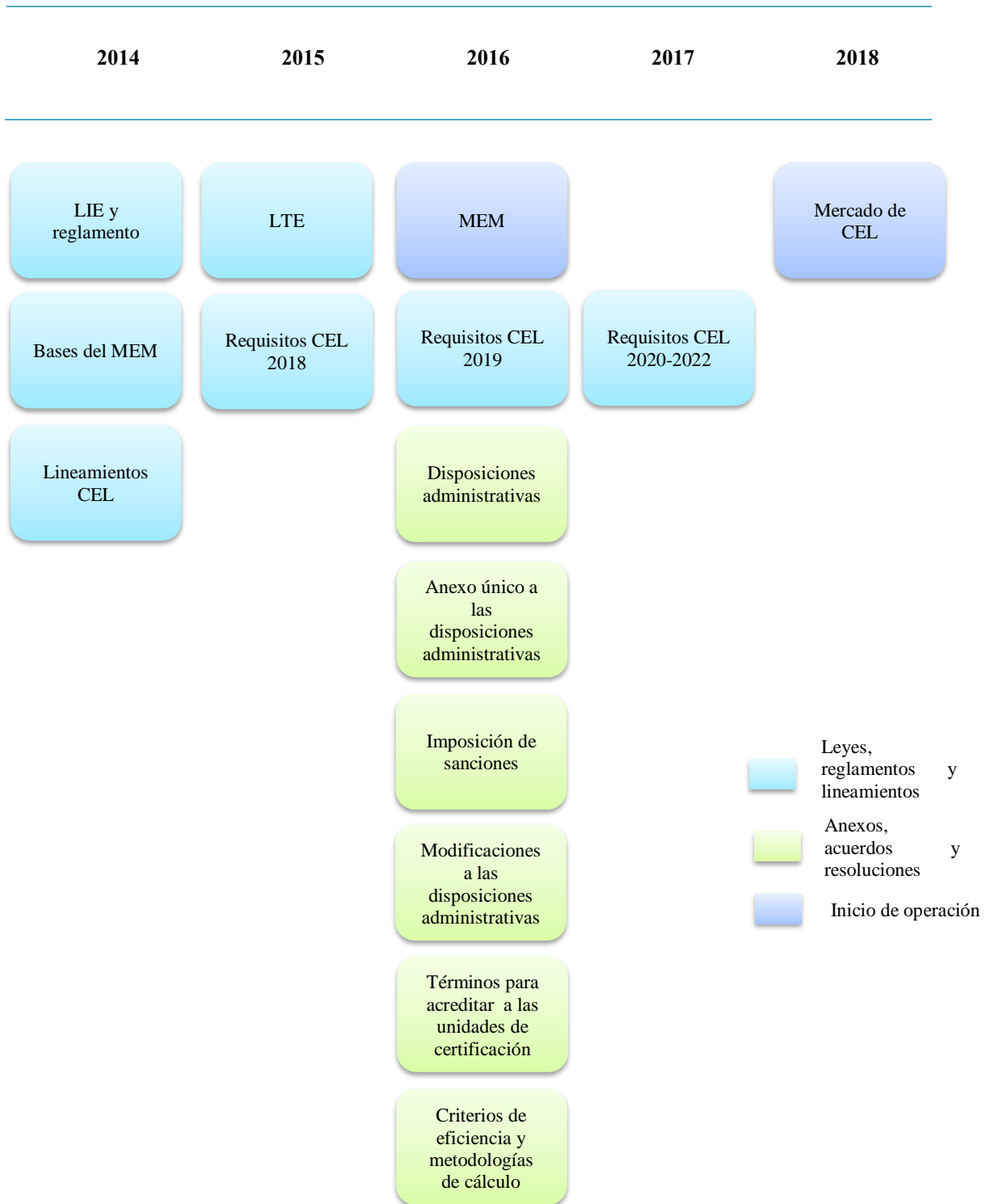


Figura 11. Cuadro de la línea de tiempo del marco legal y regulatorio de los CEL. Fuente: Elaboración propia

- Los avisos que corresponden a los requisitos para la adquisición de CEL se publican de forma anual para el periodo de 2018 a 2022. El aviso emitido en 2018 define la metodología de cálculo y el requisito de CEL que deberán cumplir los participantes obligados (Ver sección 4.2.3). La obligación aplicable en 2019 es de 5%. El aviso aplicable a 2019 indica que la obligación será del 5.8% y de 2020-2022 será de 7.4%, 10.9% y 13.9%, respectivamente.

- Las resoluciones y acuerdos que se emitieron de 2016 a 2018 indican las disposiciones administrativas para gestionar el mercado de CEL tanto obligatorio como voluntario, las sanciones que se aplican para los participantes que no cumplan con las obligaciones de energías limpias, los procedimientos para acreditar a las unidades que acreditaran la generación eléctrica de las centrales que quieran participar en el mercado y el cálculo del porcentaje de energía libre de combustible. Las resoluciones y acuerdos que se realizaron son:
 - RES/174/2016. Resolución por la que se expiden las disposiciones administrativas de carácter general para el funcionamiento del sistema de gestión de CEL y cumplimiento de obligaciones de energía limpia y su anexo único de la resolución.
 - RES/248/2016. Resolución por la que se expiden los criterios para la imposición de sanciones que deriven del incumplimiento de las obligaciones en materia de energías limpias.
 - A/067/2017. Acuerdo de la CRE por el que se modifican y adicionan las Disposiciones Administrativas de Carácter General para el funcionamiento del sistema de gestión de CEL y Cumplimiento de Obligaciones de Energías Limpias.
 - RES/2910/2017. Resolución por la que la CRE establece los términos para acreditar a las unidades que certificarán a las centrales eléctricas limpias y que certificarán la medición de variables requeridas para determinar el porcentaje de energía libre de combustible.

- RES/1838/2016. Resolución de la CRE por la que expiden las Disposiciones Administrativas de Carácter General que contienen los criterios de eficiencia y establecen la metodología del cálculo para determinar el porcentaje de energía libre de combustible en fuentes de energía y procesos de generación de energía eléctrica.

La explicación de los criterios, variables y obligaciones mencionadas en las resoluciones se describen en la siguiente sección.

4.2 Descripción del mercado

4.2.1 ¿Qué son los CEL?

El Artículo 3 Fracción XXXI de la LIE señala que los CEL son productos asociados y uniformes que están vinculados a la operación y desarrollo de la industria y se definen como un título que certifica la generación de 1 MWh a través de fuentes de energía limpia.

Los CEL representan los valores ambientales de las energías limpias, incluidas las ER's y permiten a generadores y suministradores tener un beneficio económico, son negociables a través de la celebración de contratos de cobertura eléctrica¹⁹ o bien en el mercado creado específicamente para los CEL y pueden ser recibidos por un periodo de 20 años y su vigencia es permanente hasta su liquidación [62].

4.2.2 Participantes

Los participantes del mercado de CEL para fines prácticos se dividen en dos tipos: obligados y voluntarios, ambos adquieren los CEL para venderlos a un tercero o uso propio. En el caso de los participantes obligados lo hacen para cumplir con la obligación de requisitos de CEL de acuerdo al consumo de energía eléctrica que representan y los voluntarios para contribuir con la reducción de emisiones y contribuir para alcanzar la meta de energías limpias de México. Cada uno de acuerdo al rol en el que desee o se encuentre obligado a participar deberá cumplir con los criterios establecidos.

¹⁹ Artículo 125, LIE

Entre los participantes obligados y voluntarios engloban a: los suministradores, usuarios, calificados participantes del MEM y los usuarios finales que se suministren por abasto aislado, así como los titulares de los contratos de interconexión legados que incluyan centros de carga, sean de carácter público o privado, a fin de que puedan cumplir sus obligaciones en materia de energía limpia o bien participar en el mercado voluntario de CEL.

Los criterios que los participantes deben cumplir para acceder a los CEL emitidos por la Comisión Reguladora de Energía (CRE) son [59]:

- Las centrales eléctricas limpias que entren en operación después del 11 de agosto 2014, las centrales eléctricas legadas que generen energía eléctrica a partir de energías limpias que hayan entrado en operación antes del 11 de agosto 2014, siempre y cuando hayan realizado un proyecto para aumentar su producción de energía limpias. En este caso, el periodo de veinte años iniciará a la entrada en operación del proyecto que resulte en el aumento de producción y el número de CEL corresponderá a la energía limpia que se genere en exceso [1].
- Las centrales eléctricas limpias que cuenten con capacidad que se haya excluido de un contrato de interconexión legado a fin de incluirse en un contrato de interconexión en los términos de la LIE, durante el periodo en el que el titular del contrato cuente con el derecho de incluir dicha capacidad en el contrato de interconexión legado.
- Las centrales que emplean combustibles fósiles siempre y cuando empleen energía limpia. Estas centrales tendrán derecho a recibir un CEL por cada MWh generado en las centrales que representen, multiplicado por el porcentaje de energía libre de combustible. El porcentaje de energía libre de cada central se determinará conforme a la metodología que establece CRE. Siempre y cuando no sea energía generada para consumo propio.

- La generación limpia distribuida tendrá derecho al número de CEL determinado en los lineamientos, dividido por el porcentaje de energía entregada; dichos CEL se comercializarán a través del suministrador que represente a cada central eléctrica limpia.

Las centrales eléctricas que cubran uno o varios de los puntos anteriores deberán someterse a la acreditación de generación eléctrica limpia a través de las unidades de verificación autorizadas para tal efecto (las fuentes que pueden obtener CEL se muestran en la Figura 12).



Figura 12. Esquema de las fuentes de energía limpia que pueden recibir CEL. Nota: *Otras tecnologías se refiere a las tecnologías que determinen la SENER y la SEMARNAT a través de diferentes requerimientos establecidos para tal efecto. Fuente: Elaboración propia con base en [62]

4.2.3 Obligación

Las obligaciones de cada periodo se definen por la SENER y se determinan conforme a los requisitos establecidos para el periodo de obligación y el total de energía eléctrica consumida durante un periodo de obligación en los centros de carga y puntos de carga (Ecuación 1). Las obligaciones estipuladas por año entre 2018 y 2022 son: 5%, 5.9 %, 7.4%, 10.9% y 13.9, respectivamente (Figura 13).

$$\text{Obligación} = R * C \quad (1)$$

R = Requisito de CEL para el Período de Obligación, expresado como un porcentaje del consumo;

C = Total de Energía Eléctrica consumida durante un Período de Obligación en los Centros de Carga y Puntos de Carga (MWh)

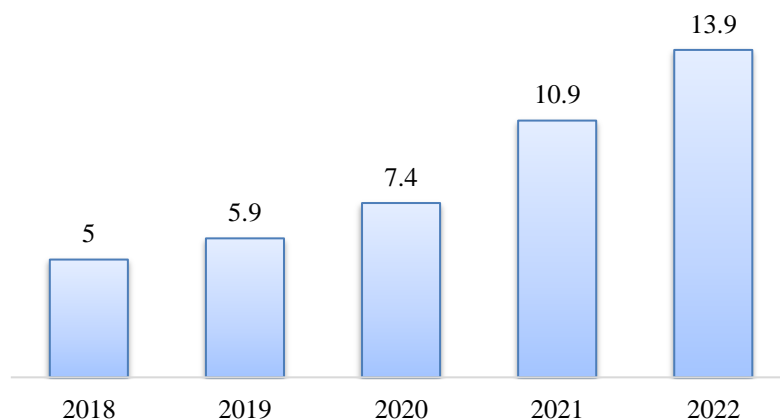


Figura 13. Gráfica del porcentaje de obligación de energía limpia por año (%) entre 2018 y 2022.
Fuente: [63]

Las obligaciones permiten al usuario obligado determinar la cantidad de CEL que requiere para el cumplimiento de su obligación. Por ejemplo, se asume que un usuario obligado, en el consumo del centro o punto de carga registra un consumo un total de 20,000 MWh anuales a partir de fuentes de combustibles fósiles. Este consumo deberá multiplicarse por la obligación definida por la SENER al año correspondiente de la misma (Ecuación 2).

$$\begin{aligned} \text{CEL requeridos} &= (20,000 \text{ MWh})(0.05) \\ &= 1,000 \text{ CEL} \end{aligned} \tag{2}$$

Por lo tanto, el usuario requerirá de 1,000 CEL al año 2018 para cumplir la obligación. En caso de que éste no cumpla con lo requerido en la fecha de liquidación, el usuario deberá pagar una penalización.

4.2.4 Dinámica del mercado

El proceso para la emisión de certificados inicia cuando los participantes acreditan que la central está generando electricidad a partir de energías limpias, el participante (generador o suministrador) realiza la gestión pertinente para llenar la solicitud, certificar la generación (certificación como generador limpio) y realizar el pago de aprovechamiento. Este proceso le permite obtener un CEL por cada MWh que genere. Los CEL son emitidos por la CRE [59].

Por otro lado, el participante obligado a cumplir con los requisitos de CEL llena la solicitud y realiza el pago para participar en el mercado (el mismo criterio aplica a las centrales voluntarias).

La CRE quien realiza el registro y verificación del mercado a través del sistema S-CEL destinado para agrupar la información. El sistema S-CEL es una plataforma electrónica a través de la cual se realiza la gestión y registro del consumo eléctrico de los participantes, el registro de la emisión, transacciones y liquidación de los CEL. Así como la declaración mensual o anual de los CEL por parte de los participantes obligados, se puede visualizar como un sistema análogo a la declaración de impuestos.

La comercialización de CEL se lleva a cabo mediante 3 modalidades: subastas de largo plazo, contratos bilaterales y el mercado secundario organizado por el CENACE [1], [46].

Por lo tanto, la oferta se conforma por los participantes que acreditan los requisitos para recibir un CEL (ver Figura 14), la CRE emite los certificados y estos se asignan a generadores, suministradores de Generación Limpia Distribuida (GLD)²⁰, algunos participantes del mercado y las entidades voluntarias y la demanda se conforma por los participantes obligados o voluntarios.

Cabe mencionar que la Base del MEM en la sección 1.3.4 indica que el mercado de CEL es operado por el CENACE y permite a los participantes realizar transacciones entre entidades responsables de carga cuyos contratos de cobertura eléctrica no cubren sus obligaciones establecidas o las supera, generadores cuya operación no permite el cumplimiento de sus compromisos contractuales y generadores con excedentes.

De esta manera el mercado de CEL se realiza en una sola etapa que comprende las pruebas del mercado en 2018 y la operación del mercado de 2018 a 2019.

²⁰ La Generación Limpia Distribuida se refiere a la generación distribuida a partir de la generación de energía limpia.

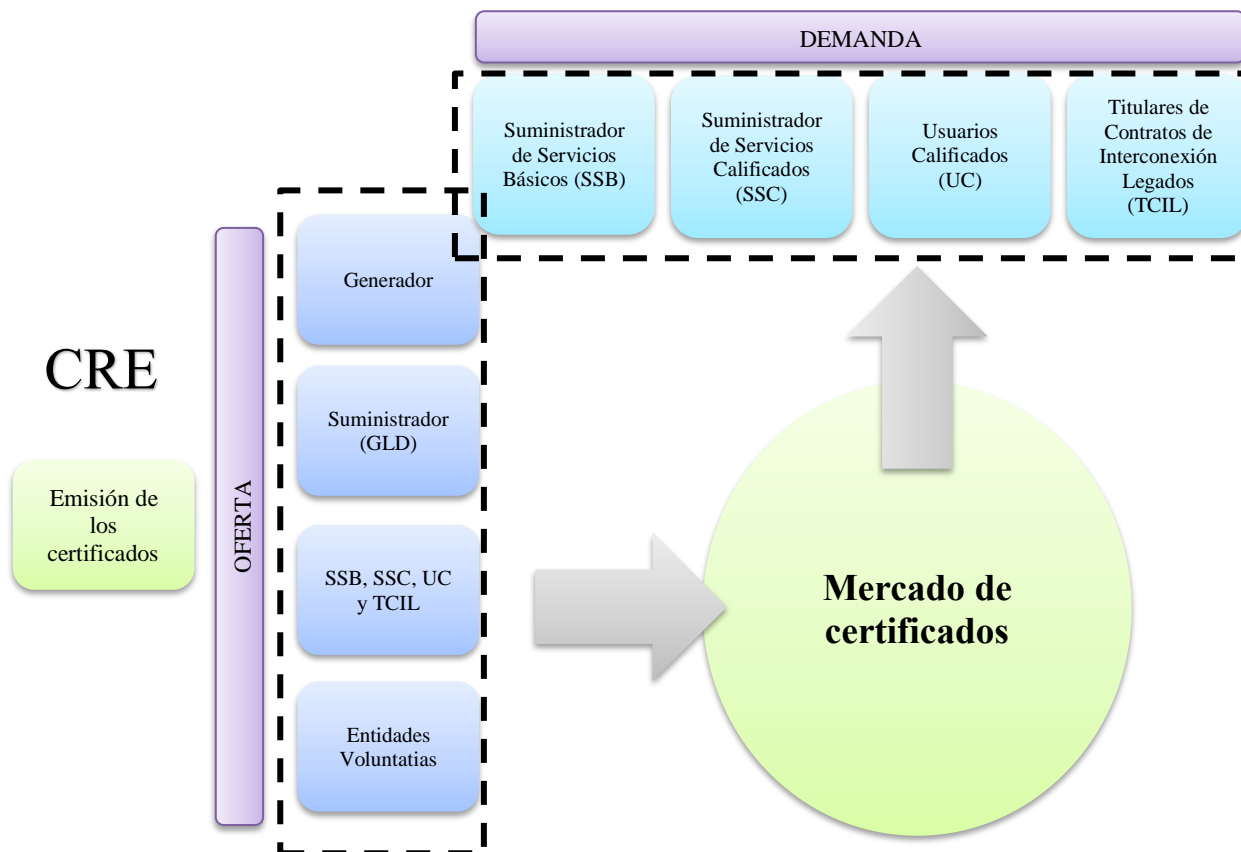


Figura 14. Esquema del proceso de oferta y demanda de acuerdo a los participantes del mercado.
Fuente: Elaboración propia con base en [59]

4.2.5 Subastas y contratos de cobertura eléctrica

Además, a través de subastas de mediano y largo plazos y contratos de cobertura eléctrica se asignan CEL hasta por 20 años. Cabe mencionar que cada uno de estos procedimientos se lleva a cabo en una sola etapa sin perjuicio de que se puedan implementar mercados de etapas posteriores, mediante modificaciones de las bases del mercado.

Así mismo cualquier participante puede comprar y vender CEL a través de contratos de cobertura eléctrica negociados de manera independiente siempre y cuando las transacciones estén registradas en el sistema de gestión y retiro de CEL, y atender el proceso que la CRE indique, asumiendo ambas partes su responsabilidad.

Por otro lado, los suministradores básicos que participen en las subastas pueden participar en la cámara de compensación. La cámara de compensación es una sociedad anónima administrada por el CENACE o por un tercero que se encarga de la administración de los contratos y facilitar el ejercicio de los derechos de compradores y vendedores. La cámara representa a los compradores y vendedores de energía, siendo un intermediario que facilite los productos y pagos, su función es concentrar garantías crediticias en caso de falta de liquidez.

4.2.6 Penalizaciones

La penalización en caso de incumplimiento por parte de los participantes obligados corresponde al número de días de salario mínimo por cada MWh de incumplimiento de acuerdo a: el porcentaje de incumplimiento, el número de veces de incumplimiento y si éste difiere²¹ o no sus obligaciones. El usuario debe cumplir con las obligaciones independientemente del pago de la multa [59].

Ahora bien, a más tardar el 15 de mayo de cada año se presentan las declaraciones anuales, con base en mediciones y facturaciones definitivas. En las declaraciones anuales se informan las obligaciones que deben ser diferidas. Hasta el 25% de las obligaciones pueden ser diferidas por un periodo máximo de 2 años y sujeto a una tasa de interés del 5% anual.

En caso de incumplimiento de las obligaciones se establecen de hasta 3067.68 pesos (sujeto a cambios por inflación) por MWh de incumplimiento (Tabla 7).

Tabla 7. Matriz para la determinación de multas por incumplimiento en la adquisición de CEL (Días de salario mínimo por MWh de obligaciones incumplido). Fuente: CRE

Multas (días de salario mínimo por MWh de incumplimiento)								
Porcentaje de Incumplimiento	No se difirió el cumplimiento de Obligaciones				Sí se difirió el cumplimiento de Obligaciones			
	> 0% y ≤ 25%	> 25% y ≤ 50%	> 50% y ≤ 75%	> 75% y ≤ 100%	> 0% y ≤ 25%	> 25% y ≤ 50%	> 50% y ≤ 75%	> 75% y ≤ 100%
Primera vez	6	8	10	12	8	10	12	14
Reincidencia	12	16	20	24	16	20	24	28
Tercera vez o contumacia	18	24	30	36	24	30	36	42

²¹ Diferir: aplazar un acto [80].

4.3 Instituciones reguladoras

Las instituciones encargadas de llevar a cabo el proceso de diseño, puesta en marcha, monitoreo, evaluación, sanciones y finalización del mercado son: SENER, CRE, CENACE, SEMARNAT, las unidades acreditadas y el comité consultivo de análisis del mercado de CEL. Cada una de las instituciones tiene una función específica de acuerdo a la normatividad en materia de CEL, las funciones de cada institución para regular el mercado de CEL se resumen en la Tabla 8 [1].

Tabla 8. Descripción de actores y funciones del mercado de CEL. Fuente: Elaboración propia con base en [1]

Actor involucrado	Función
SENER	<ul style="list-style-type: none"> • Establece los requisitos para la adquisición de CEL y los criterios para el otorgamiento de los CEL. • Diseñar e implementar mecanismos que permitan cumplir la política en materia de diversificación de fuentes de energía, seguridad energética y la promoción de las fuentes de energías limpias • Establecer las obligaciones para adquirir CEL. • Instrumentar los demás mecanismos que se requieran para dar su cumplimiento a la política en la materia. • Celebrar convenios que permitan su homologación con los instrumentos correspondientes en otras jurisdicciones.
CRE	<ul style="list-style-type: none"> • Otorgar los CEL • Emitir la regulación para validar la titularidad de los CEL. • Verificar el cumplimiento de los requisitos relativos a los CEL • Emitir los criterios de eficiencia utilizados en la definición de energías limpias. • Validar la titularidad de los CEL • Realizar visitas de verificación o inspección a los participantes del mercado. • Revisión de los dictámenes emitidos por las unidades acreditadas.
CENACE	<ul style="list-style-type: none"> • Operar el Mercado Spot de CEL.
SEMARNAT	<ul style="list-style-type: none"> • Establecer a través de Normas Oficiales Mexicanas (NOM) y demás instrumentos o disposiciones aplicables, las obligaciones de reducción de emisiones contaminantes relativas a la industria eléctrica.

Unidades acreditadas	<ul style="list-style-type: none"> • Certificar el porcentaje de producción de energía eléctrica libre de combustible a través de un dictamen técnico.
Comité consultivo de análisis del mercado de CEL	<ul style="list-style-type: none"> • Proponer, analizar, evaluar y recomendar modificaciones a las reglas del mercado.

4.4 Seguimiento y verificación

El seguimiento y verificación de los CEL se realiza a través del sistema DECLARACEL, en el cual se debe entregar un informe de forma mensual o anual, el cual incluya información como el consumo y los pagos de las obligaciones en el periodo, así como las obligaciones diferidas. La información que se ingresa al sistema es confidencial y sólo estará disponible al público después del primer reporte de avances de los CEL[64].

4.5 Estadísticas

Los CEL que se han otorgado hasta el momento se emitieron a los generadores limpios y se adjudicaron a través de subastas de largo plazo, la subasta organizada por la CFE CALIFICADOS²² y por contratos bilaterales [64].

En primer lugar, se contabilizan los CEL emitidos en las subastas así como su precio (Tabla 9), después se contabilizan los CEL otorgados por tipo de fuente de energía (Tabla 10) y finalmente se ejemplifica la oferta de CEL asignados en modalidades distintas a las subastas (Tabla 11).

En la Tabla 9, se observa que los primeros CEL se otorgaron a través de la primera subasta de largo plazo de cobertura eléctrica que se llevó a cabo en 2016. En total se subastaron 5,402,880.50 MWh y 5.3 millones de CEL en un año. El precio de cada producto fue de 29.2

²² La subasta de CFE Calificados se rige bajo la modalidad de subastas de largo plazo.

USD y 17.4 USD, respectivamente, cabe mencionar que el precio de referencia de los CEL durante la primera subasta fue de 21 USD. A finales del mismo año se realizó la segunda subasta de energía en donde se adjudicaron 8,909,819.30 MWh y 9.2 millones de CEL con un precio de 19.2 USD y 13.3 USD, respectivamente.

Posteriormente, se realizó la tercera subasta en donde nuevamente se vendió una cantidad considerable de energía que asciende a 5,302,647.18 MWh al año y 5.7 millones de CEL, el precio durante este año de energía fue de 11.8 USD y de CEL 8.6 USD, respectivamente, cabe mencionar que es el precio más bajo reportado en las subastas²³. Con base en los resultados de las tres subastas [65] señala que al 2022 se podrán certificar 24 TWh de energía limpia, ver ;**Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Tabla 9. CEL adjudicados en las subastas. Fuente: Elaboración propias con base en datos de [42], [66]

Número de Subasta	Número de CEL otorgados	Precio de energía (USD)	Precio de los CEL (USD)	Precio promedio de Energía+CEL (USD)	
				[66]	[42]
Fuente	[66]	[66]	[66]	[66]	[42]
1ra	5,380,911	29.2	17.4	46.60	47.70
2da	9,275,534	19.2	13.3	32.60	33.70
3ra	5,762,647	11.8	8.6	20.40	20.70

Las centrales que incluyeron CEL en sus contratos son principalmente: las centrales solares fotovoltaicas con un total de 11 millones de CEL, eólica con 8 millones de CEL, la geotermia con 198 mil CEL y 314 mil CEL a las centrales hidroeléctricas (Tabla 10).

Por otro lado, la oferta de CEL considerada en 2018 y 2019 es de 6.65 millones de CEL a 2018 y 3.23 millones a 2019, desglosados de acuerdo con lo indicado en la Tabla 11.

²³ El redondeo de las cifras puede no coincidir debido a las diferentes fuentes de información consultadas.

Tabla 10. Número de CEL otorgados por tecnología. Fuente: Elaboración propia con datos de [65]–[67]

Tecnología	1ra Subasta	2da Subasta	3ra Subasta
Solar fotovoltaica	3,997	4,933,382	3,471,160
Eólica	1,384	3,828,757	2,481,415
Geotérmica	-	198,764	-
Hidroeléctricas	-	314,631	-

Los CEL otorgados a los generadores es de 6.8 millones. A través de las subastas de largo plazo se otorgaron 2.7 millones. En febrero de 2017, la CFE calificados convocó a una subasta[67] en donde participaron diferentes empresas para adquirir hasta un millón de CEL.

Tabla 11. Número de CEL otorgados (millones). Fuente: [64]

	Diciembre 2018	Abril 2019	Total
Generadores limpios	5.2	1.6	6.8
Subastas de largo plazo	1.2	1.5	2.7
Subasta CFE calificados	0.2	0.07	0.27
Contratos bilaterales	0.05	0.06	0.11
Oferta total	6.65	3.23	9.88

“Ya no caben las voces que nos encontrábamos en el pasado que decían: es más costoso usar energías limpias y es más económico con las fósiles”

-Reuters Adrián Katzew²⁴

Capítulo 5. Análisis FODA de los certificados de energía limpia

Después de realizar un estudio de los conceptos básicos del mercado de certificados de energía limpia (CEL), contextualizar el entorno y describir su funcionamiento con base al marco legal y regulatorio mexicano, en este capítulo se identifican las fortalezas y debilidades del mercado de CEL a través de la metodología FODA: Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas.

Con este análisis se pretende validar o refutar la hipótesis de la presente tesis, la cual afirma que los certificados de energía limpia incentivan la inversión en la implementación de fuentes de energía renovable para la generación de electricidad en México al generar beneficios económicos y ambientales.

La metodología FODA en su esencia es un método dinámico que forma parte del proceso de gestión y desarrollo de una temática particular, a través de la cual, se puede representar la información que tiene impacto en la evolución del objeto de estudio y, por lo tanto, es una contribución importante al proceso de planificación estratégica[68].

En general, la información se agrupa en una lista de FODA bajo una lógica estratégica con perspectiva de futuro que permite emparejar fortalezas con oportunidades, evitar amenazas y tratar de superar las debilidades, además de fomentar una evaluación del impacto que los factores señalados puedan generar [69]. Este análisis es útil para discutir los factores y orientar a la toma de decisión.

5.1 Análisis interno

²⁴ Adjudican a 23 empresas la segunda subasta eléctrica [81]

En el análisis interno se observan las debilidades y fortalezas existentes en el mercado de CEL.

5.1.1 Debilidades (D)

D.1 Falta de divulgación del mercado de CEL y sus beneficios

En los últimos años de acuerdo con las estadísticas mostradas en el presente trabajo la emisión de CEL ha incrementado. Sin embargo, éste aún continúa siendo un tema nuevo para la mayoría de las empresas y usuarios finales, por lo cual no se ha interiorizado el proceso de funcionamiento del mercado y los beneficios que pueden propiciar los CEL de manera directa e indirecta.

D.2 Poca información para el diseño del mercado y la toma de decisiones

De acuerdo con la metodología de elaboración de una política energética el diseño de las políticas debe considerarse desde una línea base que permita atender la problemática específica y realizar una serie de estudios de factibilidad [13]. Sin embargo, no se encuentra disponible la información referente al estudio de los CEL, así como implicaciones en su diseño, que, si bien son un trabajo de particulares y el Estado, esta información se considera debe ser pública, para todo aquel que la requiera.

D.3 Ausencia de una metodología robusta para la evaluación de la efectividad y eficiencia de los CEL

El sistema DECLARACEL es un reporte que concentra información referente al desempeño del mercado de CEL, los costos y la penetración de energías limpias, sin embargo, en términos de evaluación de política energética el mecanismo de monitoreo y revisión es insuficiente, debido a que no se evalúa el impacto sobre costos y tarifas, la articulación con los instrumentos paralelos en materia energética y la influencia en la promoción de ER's.

D.4 Necesidad de mejora para la resolución de conflictos ante posible volatilidad en los precios

Con base en las experiencias internacionales y el marco teórico de los CEL se identifica a la volatilidad como una de las principales barreras que afectan al mercado spot. La volatilidad se relaciona con la dinámica de oferta y demanda, por ejemplo: cuando una planta de generación no produce la cantidad de MWh al año esperados debido a las condiciones climatológicas, los CEL que se otorgan al generador son menores, lo cual provoca que en el mercado sea menor la cantidad CEL y los precios sean más altos.

D.5 Altos precios de la certificación de la generación de las centrales

Los precios que ofertan las instituciones que realizan el servicio de certificación de generación de energía limpia de las centrales se rige bajo el principio de oferta y demanda; es decir, si hay pocas instituciones que proporcionen el servicio, el costo del mismo será mayor y por lo tanto la liquidez de las inversiones se puede ver afectada principalmente para participantes que deseen entrar en el esquema de generación distribuida. En 2018 el precio de referencia del servicio por MWh fue de \$2000 USD en México[70].

D.6 Falta de claridad en los procesos para las instalaciones de generación distribuida

La regulación emitida a la actualidad no es del todo clara para las instalaciones de generación distribuida por lo cual se requiere realizar un documento puntual para facilitar los procesos de participación.

D.7 Insuficiencia o sobresaturación del mercado de CEL

Es necesario contar con un mapeo de los participantes obligados y la oferta de CEL para determinar si habrá oferta suficiente para que los participantes obligados puedan cubrir sus obligaciones y el Estado alcanzar las metas a las cuales se comprometió.

D8. El mecanismo solo promueve las tecnologías más competitivas económicamente

La participación para ser acreedores de CEL se basa principalmente en la competitividad económica de la tecnología para generación y en el potencial de aprovechamiento de una central existente o bien una nueva central, lo que implica que las centrales que se empleen en su mayoría y por ende participen en el mercado de CEL sean las más competitivas económicamente.

D9. Marco regulatorio para la introducción del mercado

Se observa que el marco regulatorio en la actualidad requiere de una homologación de términos y refuerzo a través de políticas públicas para lograr transmitir los beneficios económicos y ambientales de los CEL.

D10. Capacidad organizativa e institucional

Las instituciones encargadas de llevar a cabo las etapas para el establecimiento de políticas de acuerdo con el marco regulatorio tienen definidas las funciones que desempeñan. Sin embargo, requieren comunicación adecuada y efectiva de los CEL. Si bien, se han llevado a cabo reuniones para dar seguimiento al mercado de CEL es necesario replantear la estrategia.

D11. Procedimientos para dar confiabilidad a los compradores de los CEL

El sistema para garantizar confiabilidad a los compradores se basa en asignar un número de matrícula, el cual permite identificar el CEL expedido, al comercializar el CEL, su titularidad es validada por la CRE, al realizar la deducción el CEL pierde todo valor y no puede ser comercializado nuevamente. Otro aspecto a notar es que al realizar las declaraciones se podrá utilizar la firma electrónica avanzada en las liquidaciones, sin embargo, los CEL pueden ser sujetos a falsificación.

5.1.2 Fortalezas (F)

F1. Obligatoriedad

Los CEL se visualizan como un instrumento obligatorio para garantizar el cumplimiento de los requisitos de consumo de energía limpia y fomenta el uso de fuentes de energía que reducen el impacto ambiental.

F2. Existencia de organismos reguladores

La existencia de organismos reguladores permite establecer reglas claras y eficientes, así como propiciar la transparencia en los procesos lo cual genera seguridad a los participantes y permite tener un control adecuado de las operaciones que se realizan en el mercado.

F3. Proporciona beneficios económicos

Los CEL generan remuneración económica a los generadores cuando estos realizan la venta de los certificados, por lo tanto, se pueden incorporar en el modelo de negocios del generador.

F4. Motiva a la reducción de emisiones de GEI

El uso de CEL incentiva a los generadores a utilizar tecnologías que contribuyen a la reducción de emisiones de GEI, al mismo tiempo que se recibe un estímulo económico. Lo cual, permite colaborar con el cumplimiento de acciones de gobierno, como las metas de energía limpia.

F5. Desarrollo de capacidades institucionales

Las instituciones que regulan el mercado, en particular la CRE, ha realizado una serie de talleres e impartido pláticas a nivel interno y externo para reforzar el conocimiento técnico de los CEL[64], [71]²⁵.

²⁵ El desarrollo de capacidades es el proceso mediante el cual las personas, organizaciones y sociedades obtienen, fortalecen y mantienen las aptitudes necesarias para establecer y alcanzar sus propios objetivos de desarrollo a lo largo del tiempo[82].

F6. El proceso de emisión de CEL está bien definido

La legislación actual delimita claramente las acciones para el proceso de emisión de CEL, cuya responsabilidad recae principalmente en la CRE.

F7. Existencia del comité consultivo

La regulación indica la creación de un comité consultivo cuyo objetivo es proponer, analizar, evaluar y recomendar modificaciones a las reglas del mercado y de los CEL[46].

F8. Sistemas de comunicación efectivos para la resolución de dudas

El sistema de atención de CEL permite dar respuesta oportuna a los cuestionamientos realizados por parte de los interesados en participar en el mercado, el sistema incluye un documento con preguntas y respuestas acerca del mercado de CEL y una mesa de ayuda vía correo electrónico [72].

5.2 Análisis externo

Existen factores del entorno no asociados directamente al mecanismo de CEL pero que se analizan para determinar las amenazas; es decir, aquellos factores que pueden poner en riesgo el mecanismo. Así mismo, determinar oportunidades que puedan desencadenar resultados positivos y atractivos para su adopción.

5.2.1 Amenazas (A)

A.1 Contexto político

El inminente cambio del poder ejecutivo, el plan de desarrollo, las acciones políticas y la economía repercuten en el mercado de CEL.

A.2 Contexto económico

Los cambios en los ciclos económicos, la política económica y los tipos de cambio de moneda afectan el mercado de CEL.

A.3 Reducción en los precios de las tecnologías convencionales

Las nuevas exploraciones y las disrupciones tecnológicas propician el decaimiento en los precios de las tecnologías, afectando la preferencia de elección de los generadores.

A.4 Otras cuestiones compiten por la atención y recursos nacionales

La nueva política nacional y la visión de esta puede provocar la incapacidad de financiar los cambios necesarios en la estrategia de los CEL, debido a que se requiere destinar el recurso humano y financiero a temas prioritarios de la nueva estrategia.

5.2.2 Oportunidades (O)

O1. Tratados internacionales en materia de cambio climático

México ha asumido compromisos internacionales en materia de cambio climático, lo cual ofrece la posibilidad de dar continuidad a los planes y regulaciones encaminadas al cumplimiento de los compromisos.

O.2 Caída en los costos para la generación a partir de ER

La reducción de costos de las tecnologías de energía renovable en los últimos años permite que sean competitivas económicamente.

O.3 Nuevos modelos de negocio

La regulación del sector energético permite a los usuarios crear nuevos modelos de negocio que se ajusten a las zonas e incentivos sustentables. Además, los usuarios no están limitados a emplear un número asignados de mecanismos de promoción por lo que podrán optar por el que se ajuste mejor a su modelo de negocios.

O.4 Tendencias para realizar contratos de largo plazo

Las empresas en los últimos años han optado por realizar contratos de energía a largo plazo, lo que les permite tener garantía en el suministro.

O.5 Digitalización

La capacidad de gestionar el mecanismo de CEL puede ser beneficiado a través del empleo de estrategias de digitalización.

O6. Compromiso de las instituciones con la sustentabilidad

Las empresas están migrando a modelos de negocios más sustentables [73], lo cual propicia la adquisición de productos con la etiqueta verde.

O7. Disrupción tecnológica

Hoy en día estamos en una era en donde hay un número mayor de tecnologías disruptivas; por lo cual, se podrían hacer más eficientes las tecnologías de generación eléctrica o bien las de almacenamiento.

En la Tabla 12 se resume la matriz FODA y a continuación se identifican las estrategias para reducir debilidades, enfrentar amenazas y aprovechar oportunidades del mercado de CEL.

5.3 Estrategias F-O

Las estrategias para aprovechar las oportunidades mediante el uso de las fortalezas del mercado de CEL (estrategias F-O) se describen a continuación:

- **Crear canales de comunicación efectivos**

La comunicación efectiva es un factor crítico para garantizar la toma de decisiones y el funcionamiento del mercado. Para lograrlo, se debe establecer una estrategia de comunicación interna y externa.

La estrategia de comunicación interna se debe definir en conjunto con las instituciones involucradas directamente con el mercado, así como instituciones que tienen compromisos con la sustentabilidad, para incrementar el desarrollo de capacidades, de tal manera que los miembros de las instituciones puedan resolver dudas y controversias de forma efectiva.

Por otro lado, la estrategia externa consiste en transmitir el mensaje de la obligatoriedad de los CEL, su beneficio económico, ambiental, el funcionamiento, la existencia de las instituciones y las plataformas de información a través de medios digitales.

Además, se puede provechar la coyuntura del mercado de CEL con los fines ambientales que persigue, tal es el caso de los tratados internacionales, adecuando los mensajes a la población objetivo.

Ambas estrategias de comunicación deben incluir un proceso de retroalimentación para reforzarlo y mantener a los involucrados informados.

- **Consolidar nuevos modelos de negocio**

El nuevo esquema de la industria eléctrica permite a los generadores participar a través de distintos modelos de negocio, en los cuales, el generador puede vender productos como: energía, CEL y potencia a través del MEM, contratos bilaterales o subastas.

Esto genera un beneficio económico y ambiental tanto para los generadores como para las empresas que los compran, ante tal efecto los generadores pueden aprovechar la caída de los costos para la generación eléctrica a partir de ER's, utilizar el esquema de contratos de largo plazo para evitar la volatilidad, identificar con mayor facilidad a clientes potenciales entre las instituciones comprometidas con la sustentabilidad e incorporar la disrupción tecnológica para fortalecer su modelo.

- **Desarrollar nuevos procesos de seguimiento del mecanismo**

Se recomienda desarrollar una plataforma digital en conjunto con las instituciones comprometidas con la sustentabilidad, las instituciones que vigilan el cumplimiento del mecanismo y la mejora de los procesos.

La finalidad de la nueva plataforma es evaluar la eficiencia y eficacia del mercado de CEL, en relación con la política energética.

Los indicadores propuestos para la evaluación se enuncian en el Anexo I. Indicadores para evaluar .

5.4 Estrategias D-O

Por otro lado, las estrategias que permiten la mejora de las debilidades en función a las oportunidades externas (estrategias D-O) y fortalecer el mercado son:

- **Elaborar una estrategia de difusión basada en medios digitales**

El mercado de CEL es un mercado nuevo y con muchas condicionantes, por lo que es necesario dar a conocer la información relacionada con los procedimientos y beneficios para su compraventa aprovechando plataformas digitales como las redes sociales y webinars.

- **Incentivar la participación de todos los sectores para evaluar la política**

Convocar a más instituciones a participar en el comité consultivo, solicitar su retroalimentación, realizar proyectos conjuntos de evaluación de los procedimientos, el papel de las instituciones y las tecnologías que se benefician.

- **Elaborar planes para reducir la volatilidad en los precios basados en contratos de largo plazo**

Evaluar escenarios futuros del mercado spot para analizar la volatilidad de los precios de los CEL seguido de la inclusión de las estrategias empleadas a nivel internacional para tal efecto, como pueden ser: bancabilidad, mercado voluntario y/o precio de referencia.

- **Elaborar planes para incentivar nuevos modelos de negocios**

Los modelos de negocio están sujetos al marco regulatorio actual y factores económicos externos, por lo que se recomienda elaborar políticas públicas que permitan a los generadores y participantes obligados, cumplir con los requerimientos del mercado de CEL.

- **Generar escenarios del mercado para la prevención de barreras**

Las principales barreras del mercado de CEL a nivel internacional son: volatilidad de los precios, beneficios únicamente a las tecnologías más competitivas y la dificultad de entrar al mercado a los pequeños productores, por lo que se recomienda generar escenarios posibles para la prevención de barreras.

5.5 Estrategias F-A

Las estrategias F-A permiten utilizar las fortalezas para reducir el impacto de las amenazas externas.

- **Llegar a acuerdos con los nuevos gobernantes para afianzar el mecanismo**

Se requiere llegar a acuerdos con los nuevos gobernantes para asegurar la sostenibilidad de políticas establecidas, como el mercado de CEL en función a factores: económicos (ahorro, eficiencia o seguridad de suministro); medioambientales (reducción de GEI), y sociales (creación de empleo, demandas ciudadanas de apoyo público a estas fuentes de energía o cohesión socioeconómica). Esto dada la influencia del pensamiento político en la elaboración de planes de desarrollo y energético.

- **Desarrollar nuevas capacidades institucionales para mitigar la incertidumbre de los participantes del mercado**

El fortalecimiento y desarrollo de las capacidades institucionales forman parte del éxito de la consecución de objetivos a largo plazo, por lo que es necesario realizar un plan para el desarrollo de nuevas capacidades, de tal forma que individuos que conforman las instituciones logren interiorizar el conocimiento del mercado y sus procedimientos.

- **Proveer de información sencilla y verídica a los participantes**

La información es fundamental para la toma de decisiones por lo que es necesario robustecer las plataformas de información actuales para que los participantes del mercado puedan establecer estrategias adecuadas respecto al uso de CEL.

- **El mecanismo en sí mismo impide la participación de energías convencionales sin embargo se debe pensar en redefinir el término de energía limpia**

A lo largo del presente trabajo se han empleado dos definiciones para abordar las tecnologías que pueden certificar un MWh generado: energías renovables y energías limpias. Si bien los CEL en su naturaleza se definen de acuerdo con las energías limpias puede generar confusión y el valor ambiental de las tecnologías que se emplean puede verse mermado.

5.6 Estrategias D-A

Finalmente, las estrategias D-A permiten establecer un plan de acción para reducir las debilidades y amenazas.

- **Fortalecer los sistemas de información a los tomadores de decisiones y los participantes del mercado**

La estrategia principal para confrontar las debilidades y amenazas del mercado de CEL es proveer información clara y verídica a los tomadores de decisiones y los participantes de mercado.

- **Impulsar a la investigación y desarrollo para promover tecnologías más competitivas**

El mercado de CEL el mecanismo solo promueve las tecnologías más competitivas económicamente por lo que es necesario incrementar la oferta de tecnologías e incentivar el desarrollo de estas, lo que se puede lograr a través de la implementación de políticas públicas.

Tabla 12. Matriz FODA.

Fuente: Elaboración propia

	<p align="center">Fortalezas</p> <p>F1. Obligatoriedad F2. Existencia de organismos reguladores F3. Proporciona beneficios económicos F4. Motiva a la reducción de emisiones de GEI F5. Desarrollo de capacidades institucionales F6. El proceso de emisión de CEL está bien definido F7. Existencia del comité F8. Sistemas de comunicación efectivos para la resolución de dudas</p>	<p align="center">Debilidades</p> <p>D1. Falta de divulgación del mercado de CEL y sus beneficios D2. Poca información para el diseño del mercado y la toma de decisiones D3. Ausencia de una metodología robusta para la evaluación de la política D4. Necesidad de mejora para la resolución de conflictos ante posible volatilidad en los precios D5. Altos precios de la certificación de la generación de las centrales D6. Falta de claridad en los procesos para las instalaciones de generación distribuida D7. Insuficiencia o sobresaturación del mercado de CEL D8. El mecanismo solo promueve las tecnologías más competitivas económicamente D9. Marco regulatorio para la introducción del mercado D10. Capacidad organizativa e institucional D11. Procedimientos para dar confiabilidad a los compradores de los CEL</p>
<p align="center">Oportunidades</p> <p>O1. Tratados internacionales en materia de cambio climático O2. Caída en los costos para la generación a partir de ER's O3. Nuevos modelos de negocio O4. Tendencia realizar contratos de largo plazo O5. Digitalización O6. Compromiso de las instituciones con la sustentabilidad O7. Disrupción tecnológica</p>	<p align="center">Estrategias F-O</p> <p>F1 F2 F3 F4 F5 F6 F8 O1 O5 O6 Crear canales de comunicación efectivos F3 F4 O2 O3 O4 O6 O7 Consolidar de nuevos modelos de negocio F1 F2 F5 F7 O5 O6 Desarrollar nuevos procesos de seguimiento del mecanismo</p>	<p align="center">Estrategias D-O</p> <p>D1 D2 D6 D8 D10 O5 Elaborar una estrategia de difusión basada en medios digitales D3 D4 D7 D10 D11 O1 O6 O5 Incentivar la participación de todos los sectores para evaluar la política D4 O4 Elaborar planes para reducir la volatilidad en los precios basados en contratos de largo plazo D5 D6 O2 O3 O6 O7 Elaborar planes para incentivar nuevos modelos de negocios D2 D7 O5 Generar escenarios del mercado para la prevención de barreras</p>
<p align="center">Amenazas</p> <p>A1. Contexto político A2. Contexto económico A3. Reducción en los precios de las tecnologías convencionales A4. Otras cuestiones compiten por la atención y recursos nacionales</p>	<p align="center">Estrategias F-A</p> <p>F1 F2 F3 F4 F5 F6 F7 A1 A2 A4 Llegar a acuerdos con los nuevos gobernantes para afianzar el mecanismo F5 F7 A1 Desarrollar nuevas capacidades institucionales para mitigar la incertidumbre de los participantes del mercado F2 F3 F4 F7 F8 A1 A2 Proveer de información sencilla y verídica a los participantes F1 F3 F4 A3 El mecanismo en sí mismo impide la participación de energías convencionales sin embargo se debe pensar en redefinir el término de energía limpia</p>	<p align="center">Estrategias D-A</p> <p>D1 D2 D3 D4 D5 D6 A1 A2 A4 Fortalecer los sistemas de información a los tomadores de decisión y los participantes del mercado D8 A3 Impulsar a la investigación y desarrollo para promover tecnologías más competitivas.</p>

Conclusiones

México transita por un nuevo panorama energético en donde los cambios regulatorios han puesto en marcha nuevos mercados y por ende los usuarios han podido optar por diversas estrategias para generación y suministro eléctrico.

Entre estos cambios y como se examinó a lo largo de la tesis se sitúa el establecimiento del mercado de certificados de energía limpia (CEL), alrededor del cual aún continúan cuestionamientos para la mayoría de las empresas interesadas en participar en el mercado y al mismo tiempo para adoptar nuevas tecnologías.

Es por lo que el principal objetivo de la tesis es analizar el uso de certificados de energía limpia como incentivo económico y ambiental para promover la inversión en las fuentes de energía renovable (ER's) en México, el cual se cumplió satisfactoriamente a través de la elaboración del análisis FODA.

El principal aporte de la tesis consiste en proporcionar una visión a los generadores de CEL con la cual se beneficien al considerar a los CEL en sus modelos de negocio y al mismo tiempo generar la certeza a los participantes obligados y voluntarios a que realizan más allá de un gasto, una inversión que los posiciona como empresas responsables en el tema ambiental.

Asimismo, la tesis proporciona estrategias e indicadores que permite a los tomadores de decisiones reforzar la regulación del mercado de CEL para que opere de forma adecuada y promover la inversión en ER's a través de los CEL.

Se elaboró el marco conceptual del mercado de los CEL, se contextualizó el entorno, se explicó su funcionamiento con base en la regulación actual, se identificaron las fortalezas y debilidades del mercado y finalmente se identificaron estrategias para su mejora.

Se observa que el mecanismo de CEL coexiste con otros mecanismos de promoción de ER's los que pueden articularse y representar oportunidades para los participantes tal como sucede en otros países.

De acuerdo con el análisis el contexto actual en el que se implementa el mercado de CEL representa una oportunidad para incentivar el uso de ER's a través de la obligación que tienen los consumidores de energía.

Se observa que las definiciones de ER's y energía limpia requieren homologarse para garantizar el valor ambiental que representan los CEL.

Se mostró que el desarrollo del mercado de CEL se llevó a cabo a través de distintos instrumentos regulatorios como: la Ley de la Industria Eléctrica (LIE), las Bases del Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) y los lineamientos de CEL; posteriormente se emitieron regulaciones que permitían aclarar la operación, gestión, sanciones y requisitos para la participación en el mercado. Estos instrumentos se encuentran bien articulados y señalan de manera puntual las fases de la política: objetivos, planes de implementación, monitoreo, revisión y las responsabilidades institucionales.

Cabe resaltar que los CEL son un producto independiente del mercado eléctrico y se otorgan a los participantes que cumplan con cierto grado de requerimientos, entre los más importantes el uso de energías limpias, entre ellas las ER's y la certificación de las centrales.

Entre los principales resultados obtenidos del análisis FODA realizado, se observa que es necesario reforzar: la comunicación interna y externa entre instituciones y participantes del mercado de CEL, incrementar el nivel de información y transparencia de los procesos, para fortalecer el mercado de CEL.

El presente trabajo es una primera aproximación al mercado de CEL y es necesario en trabajos futuros profundizar en algunos aspectos de la regulación para proveer de información suficiente que permita analizar la política en un entorno sujeto a incertidumbres

y que depende de distintos factores internos y externos, en consecuencia, se podrá enriquecer uno de los ejes principales para el desarrollo del país como lo es el sector eléctrico.

Anexo I. Indicadores para evaluar la efectividad y eficiencia los CEL

Tabla 13. Tabla de indicadores para evaluar la efectividad y eficiencia de los CEL. Fuente: Elaboración propia con base en [74]

Criterio de evaluación	Indicador	Descripción	Nivel de datos requeridos
Efectividad	Capacidad instalada	Indicador más simple de emplear y los requisitos de datos muy bajos. No refleja el rendimiento operacional.	Bajo
	Electricidad generada	Cantidad de datos bajo. Refleja el desempeño operativo.	Bajo
	Comparación con cambios en los objetivos del gobierno	Evalúa el vínculo entre los logros y los objetivos, pero sin indicación de la escala de ambición de la política.	Bajo
	EC indicador de efectividad	Medidas implementadas en un año dado como porcentaje del potencial realizable no explotado restante hasta 2020. Requisitos considerables de datos y capacidad técnica para estimar potencial deseado. No toma en cuenta las tasas de aprendizaje. La mudanza del año base dificulta la comparación longitudinal.	Bajo
	Indicador de impacto de la política	Mide el desarrollo alcanzado en un año determinado, como un porcentaje de desarrollo requerido entre cierto intervalo de años.	Alto
	Indicador del estatus de desarrollo	Cuantifica la madurez de las tecnologías ER en el mercado. Indicador compuesto que combina: producción ER como porcentaje de consumo; producción como porcentaje del potencial de realización de 2030; Capacidad instalada.	Alto
Eficiencia	Costo de la capacidad instalada (USD/MW)	Refleja el costo por MW instalado.	Bajo
	Costo de generación (USD/MWh)	Refleja el costo por cada MWh instalado.	Bajo

	Nivel de remuneración (USD/MW)	El indicador del nivel de remuneración es el valor actual neto anualizado de la remuneración total (precios mayoristas de electricidad + incentivos), se usa para comparación internacional. Se considera un indicador más justo que la comparación solo de incentivos. Los supuestos necesarios para los cálculos del valor actual neto influyen en los resultados.	Alto
	Ganancias potenciales	Mide la diferencia entre los niveles de remuneración y los costos de generación, para comparación internacional. Más apropiado para comparación con países pares. Considerables requisitos de datos.	Alto
	Indicador de adecuación de la remuneración	Extensión del indicador del nivel de remuneración para tener en cuenta el factor de carga. Compara la remuneración recibida con rangos razonables. Considerables requisitos de datos.	Alto
	Costo total	Compara el costo total de los pagos de primas (medido como un porcentaje del valor total al por mayor de la generación) con la cantidad de generación de electricidad adicional que incentivan (como porcentaje de la generación total anual). Destaca la carga de los costos de soporte cuando las políticas conducen a un rápido crecimiento en la implementación de ER. No tiene en cuenta la reducción de los precios al por mayor.	Alto

Referencias

- [1] SENER, Ley de la Industria Eléctrica. 2014.
- [2] WEC, “Consejo Mundial de la Energía”. 2013.
- [3] World Commission on Environment and Development, “Our Common Future: The Bruntland Report”, 1987.
- [4] IPCC, “Resumen para responsables de políticas: Informe especial sobre fuentes de energía renovables y mitigación del cambio climático”, núm. IPCC. Cambridge Reino Unido, 2011.
- [5] WEC, “Cambio Climático : Implicaciones para el Sector Energético”. 2014.
- [6] ONU, “Energy - United Nations Sustainable Development”, 2018. [En línea]. Disponible en: <http://www.un.org/sustainabledevelopment/energy/>.
- [7] ONU, “Convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático”. p. 98, 1992.
- [8] ONU, “COP 21: Aprobación del Acuerdo de París”. pp. 1–40, 2015.
- [9] IMCO, “México ratifica el Acuerdo de París sobre el cambio climático -”, 2016. [En línea]. Disponible en: http://imco.org.mx/medio_ambiente/mexico-ratifica-el-acuerdo-de-paris-sobre-el-cambio-climatico/.
- [10] IRENA, “Planning for the Renewable Future. Long term modelling and tools to expand variable renewable power emerging economies”. 2017.
- [11] IRENA, “Renewable Energy benefits: Measuring the Economics”, 2016.
- [12] REN21, “Avanzando en la transición mundial hacia la energía renovables”. 2017.
- [13] OLADE, “Política Energética: Guía Práctica”. OLADE, 2016.
- [14] G. Blanco, R. Amarilla, A. Martinez, C. Llamosas, y V. Oxilia, “Energy transitions and emerging economies: A multi-criteria analysis of policy options for hydropower surplus utilization in Paraguay”, *Energy Policy*, vol. 108, pp. 312–321, 2017.
- [15] IRENA, “REthinking Energy”, 2017.
- [16] S. Abolhosseini y A. Heshmati, “The main support mechanisms to finance renewable energy development”, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 40, pp. 876–885, dic. 2014.
- [17] T. Wang, Y. Gong, y C. Jiang, “A review on promoting share of renewable energy by green trading mechanisms in power systems”, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol.

- 40, núm. 1, pp. 923–929, dic. 2014.
- [18] J. Winkler, A. Gaio, B. Pfluger, y M. Ragwitz, “Impact of renewables on electricity markets - Do support schemes matter?”, *Energy Policy*, vol. 93, pp. 157–167, 2016.
- [19] T. H. Kwon, “Rent and rent-seeking in renewable energy support policies: Feed-in tariff vs. renewable portfolio standard”, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 44, pp. 676–681, 2015.
- [20] P. E. Morthorst, “A green certificate market combined with a liberalised power market”, *Energy Policy*, vol. 31, núm. 13, pp. 1393–1402, 2003.
- [21] J. Schallenberg-Rodriguez, “Renewable electricity support systems: Are feed-in systems taking the lead?”, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 76, pp. 1422–1439, 2017.
- [22] G. J. Schaeffer, M. G. Boots, T. Anderson, C. Mitchell, C. Timpe, y M. Cames, “The Implications of Tradable Green Certificates for the Deployment of Renewable Electricity Mid-Term Report”, 1999.
- [23] A. Bergek y S. Jacobsson, “Are tradable green certificates a cost-efficient policy driving technical change or a rent-generating machine? Lessons from Sweden 2003-2008”, *Energy Policy*, vol. 38, núm. 3, pp. 1255–1271, 2010.
- [24] L. Pavaloaia, I. Georgescu, y M. Georgescu, “The System of Green Certificates - Promoter of Energy from Renewable Resources”, *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 188, pp. 206–213, 2015.
- [25] D. Mitrut y M. Bancescu, “Romanian green certificates market”, *Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research*. 2008.
- [26] L. Blaga, “Accounting Changes on Green Certificates in Romania”, *Econ. Sci. Ser.*, vol. XVII, núm. 2, pp. 644–648, 2017.
- [27] IMCO, “CEL consideraciones para promover su inversión”. 2015.
- [28] P. E. Morthorst, “The development of a green certificate market”, *Energy Policy*, vol. 28, núm. 15, pp. 1085–1094, 2000.
- [29] C. Heinzl y T. Winkler, “Tradable Green Certificates as a Policy Instrument? A Discussion on the Case of Poland”, 2010.
- [30] M. S. Andrzej Weddzik, Tomasz Siewierski, “Green certificates market in Poland ? The sources of crisis”, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 75, núm. November 2015,

- pp. 490–503, 2017.
- [31] Sustainable Energy Foundation, “Implementation Of The Renewable Energy Certificate (REC) Framework In India”. 2012.
 - [32] V. Colcelli, “The problem of the legal nature of green certificates in the Italian legal system”, *Energy Policy*, vol. 40, núm. 1, pp. 301–306, 2012.
 - [33] H. O’Brian, “Italian government bows to predure on green certificate removal”, *Wind Power Monthly*, 2010. [En línea]. Disponible en:
<https://www.windpowermonthly.com/article/1015208/italian-government-bows-pressure-green-certificate-removal>.
 - [34] R. Wiser, C. Namovicz, M. Gielecki, R. Smith, y E. O. Lawrence, “Renewables Portfolio Standards: A Factual Introduction to Experience from the United States”. 2007.
 - [35] E. Holt, J. Sumner, y L. Bird, “The Role of Renewable Energy Certificates in Developing New Renewable Energy Projects”, *NREL Tech. Rep.*, núm. June, p. 50, 2011.
 - [36] G. Terry, “Distributed generation state renewable portofolio standards”. 2015.
 - [37] G. Shrimali y S. Tirumalachetty, “Renewable energy certificate markets in India—A review”, 2013.
 - [38] A. H. Shahrouz abolhosseini, “The main support mechanisms to finance renewable energy development”, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 2014.
 - [39] A. Darmani, A. Rickne, A. Hidalgo, y N. Arvidsson, “When outcomes are the reflection of the analysis criteria: A review of the tradable green certificate assessments”, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 62, pp. 372–381, sep. 2016.
 - [40] *Diario Oficial de la Federación, Ley de Transición Energética*. 2015.
 - [41] PWC, “Resumen del anteproyecto de bases del mercado eléctrico”. PWC, p. 27, 2015.
 - [42] SENER, “Programa Nacional de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2018-2032”. 2018.
 - [43] KPMG, “Oportunidades en el sector eléctrico en México”, 2016.
 - [44] *Diario Oficial de la Federación, Ley de la Comisión Federal de Electricidad*. 2016.
 - [45] Pablo Álvarez, “La estricta separación legal de la Comisión Federal de Electricidad”.

- X Seminario sobre situación y perspectivas del sector eléctrico en México, 2017.
- [46] Diario Oficial de la Federación, Bases del mercado eléctrico. 2015.
- [47] CFE, “Estructura Corporativa CFE”. [En línea]. Disponible en: [https://www.cfe.mx/acercacfe/Estructura CFE/Pages/corporativo.aspx](https://www.cfe.mx/acercacfe/Estructura%20CFE/Pages/corporativo.aspx). [Consultado: 12-abr-2019].
- [48] ASEA, “¿Qué es ASEA y qué regula?” [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.mx/asea/articulos/que-es-asea-y-que-regula?idiom=es>. [Consultado: 10-abr-2019].
- [49] ASEA, “¿Cómo nace la ASEA?” [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.mx/asea/articulos/como-nace-asea?idiom=es>. [Consultado: 10-abr-2019].
- [50] Comisión Reguladora de Energía, “Preguntas frecuentes sobre la nueva regulación en temas eléctricos”, CRE. pp. 1–73, 2014.
- [51] IRENA, “Transformación energética mundial: hoja de ruta hasta 2050”. 2018.
- [52] Diario Oficial de la Federación, Ley de Transición Energética. 2015.
- [53] SENER, “¿Qué son las energías limpias?”, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://dgel.energia.gob.mx/inel/CleanEnergies.html>.
- [54] SENER, “Prospectiva de Energías Renovables 2016-2030”, Diario Oficial de la Federación. 2015.
- [55] SENER, “Programa Nacional de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2018-2032”. 2017.
- [56] SENER, “Reporte de Avance de Energías Limpias 2017”, 2017.
- [57] SENER, “Reporte de avance de energías limpias”. 2017.
- [58] IRENA, “Renewable Energy Prospects: Mexico”, 2015.
- [59] PWC, “Iniciativa eólica. reporte de Apoyo al desarrollo del PRODESEN”. 2016.
- [60] PWC, “Estudio sobre las inversiones necesarias para que México cumpla con sus metas de Energías Limpias”. .
- [61] IEA, “Joint policies and measures database”, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://www.iea.org/policiesandmeasures/renewableenergy/>.
- [62] Diario Oficial de la Federación, Lineamientos que establecen los criterios para el otorgamiento de certificados de energías limpias y los requisitos para su adquisición.

- 2014.
- [63] CRE, “Certificados de Energías Limpias”, 2017.
 - [64] CRE, “Taller: Certificados de energía limpia”. 2018.
 - [65] BNEF, “El futuro de la energía en México”, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://bbgmkgt.turtl.co/story/5aaa83dc833e2228d79279e1>.
 - [66] KPMG, “Subastas a largo plazo: promotoras de energía limpia”, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://home.kpmg.com/mx/es/home/tendencias/2017/12/subastas-a-largo-plazo-promotoras-de-energia-limpia.html>.
 - [67] Energía a Debate, “ACCIONA suministrará certificados de energía limpia a CFE Calificados”, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.energiaadebate.com/blog/2367/>.
 - [68] D. Start y I. Hovland, “Herramientas para el Impacto en las Políticas Públicas: Manual para Investigadores”. p. 86, 2004.
 - [69] J. Terrados, G. Almonacid, y L. Hontoria, “Regional energy planning through SWOT analysis and strategic planning tools.: Impact on renewables development”, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 11, núm. 6, pp. 1275–1287, ago. 2007.
 - [70] TÜV Rheinland, Certificación de centrales de energía limpia. 2018.
 - [71] Sol de Cuernavaca, “Desarrollan talleres de energía limpia”, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.elsoldecuernavaca.com.mx/finanzas/desarrollan-talleres-de-energia-limpia-1843209.html>.
 - [72] CRE, “Certificados de Energías Limpias”, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.mx/cre/acciones-y-programas/certificados-de-energias-limpias-51673>.
 - [73] KPMG, “Encuesta Desarrollo Sostenible en México 2018”, sep. 2018.
 - [74] IRENA, “Evaluating Renewable Energy Policy : A Review of Criteria and Indicators for Assessment”. 2014.
 - [75] INEEC, “Consultoría para el estudio del impacto de medidas y políticas de eficiencia energética en los sectores de consumo, sobre el balance de energía y sobre los escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero en el corto y mediano plazo”, 2012.
 - [76] Energypedia, “Renewable Energy Quota and Certificate Schemes”, 2018. [En línea].

Disponible en:

https://energypedia.info/wiki/Renewable_Energy_Quota_and_Certificate_Schemes.

- [77] Enrique Krauze, “Urquidi el visionario”, Portal de Enrique Krauze, 2004. [En línea].

Disponible en:

http://www.enriquekrauze.com.mx/joomla/index.php?option=com_content&view=article&id=479:urquidi-visionario&catid=92&Itemid=422.

- [78] Instituto Nacional del Emprendedor, “Marco Legal - Formas o modalidades legales para operar”. 2015.

- [79] E. Jurídica, “Marco Jurídico”, 2016. [En línea]. Disponible en:

<https://mexico.leyderecho.org/marco-juridico/>.

- [80] RAE, “Significado de diferir”, 2009. [En línea]. Disponible en:

<http://lema.rae.es/dpd/srv/search?key=diferir>.

- [81] El Economista, “Adjudican a 23 empresas la Segunda Subasta Eléctrica”, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://www.eleconomista.com.mx/empresas/Adjudican-a-23-empresas-la-Segunda-Subasta-Elctrica-20160928-0007.html>.

- [82] PNUD, “DESARROLLO DE CAPACIDADES: Texto básico del PNUD”. 2009.