



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Análisis del Valor de los
Certificados de Energía Limpia en
México con Criterio de Equidad**

TESIS

Ingeniero Eléctrico Electrónico

P R E S E N T A

Angel Gustavo Cedillo Jiménez

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Gabriel León de los Santos



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2021



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

Objetivo general

Realizar un análisis técnico y económico del valor mínimo de los incentivos económicos que se dan a las plantas de generación eléctrica limpias vía los Certificados de Energía Limpia (CEL), diferenciando por tipo de tecnología usada y capacidad, y como los ingresos económicos adicionales por los CEL son muy necesarios en algunos casos, y en otros no; y además mostrar con qué niveles de valor económico los CEL mejoran la viabilidad económica de los proyectos de energía limpia y su comercialización en el mercado eléctrico en México.

Objetivos particulares

1.- Mostrar el contexto del Mercado Eléctrico Mayorista en México, cómo está formado y qué papel juegan los Certificados de Energía Limpia en el cumplimiento de los compromisos internacionales en materia de Cambio Climático suscritos por México.

2.- Investigar sobre proyectos teóricos que, según la evaluación económica realizada en su momento, no son viables, siempre y cuando la evaluación realizada no contemplara ingresos por Certificados de Energía Limpia. Identificar los indicadores claves en la evaluación de proyectos que permiten saber la viabilidad de éstos.

3.- Determinar un precio de CEL mediante el análisis de los estudios recopilados que permita que estos proyectos sean rentables tomando los indicadores clave en la evaluación de proyectos como son el Valor Presente Neto (VPN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y la Relación Beneficio Costo (B/C). Comparar el precio o precios encontrados con precios reales y proyecciones de precios de CEL para identificar si el comportamiento real del mercado es el indicado para el precio de CEL encontrado.

4.- Proponer una modificación a la regulación en México para tener una operación equitativa del Mercado de CEL a través de analizar el panorama en algunos mercados que establecieron mecanismos similares de impulso a las energías renovables, como son los *Traedable Green Certificates* (TGC) y los *Feed in Tariffs* (FiT), y las problemáticas presentadas en mercados como Reino Unido, así como la forma en que se abordaron con la finalidad de dar certidumbre a las inversiones.

Resumen

El presente trabajo corresponde a una investigación para realizar una propuesta de un cambio en el esquema de igualdad bajo el cual opera el Mercado de Certificados de Energía Limpia en México, para cambiar el paradigma hacia un esquema equitativo donde cada proyecto pueda alcanzar sus necesidades económicas que permiten su viabilidad y que los proyectos que no necesitan incentivos como los CEL no los tengan para enfocar los esfuerzos a proyectos de energía limpia que sin los CEL no podrían ser viables.

Para lograr el objetivo de esta tesis primeramente se muestran los antecedentes del Mercado Eléctrico en México, así como los tipos de tecnologías que reciben CEL y una breve descripción del marco regulatorio actual para pasar a describir cómo se realiza el análisis económico de un proyecto de energía limpia tomando como ejemplos trabajos realizados con anterioridad.

Posteriormente se realiza la reevaluación económica de una recopilación de proyectos para demostrar que cada proyecto tiene necesidades diferentes, por lo que una operación de mercado con base en la igualdad no es la mejor opción, si no una operación de forma equitativa.

Por último, se muestra ejemplos de cómo otros países incentivan la instalación de centrales limpias mediante esquemas similares al mercado de CEL en México, entre los que destacan los esquemas *Feed-In* cuya finalidad es incentivar de una forma más equitativa el desarrollo del Mercado Energético Limpio en los países que lo adoptaron.

Contenido

Objetivo general.....	2
Objetivos particulares	2
Resumen.....	3
Introducción	6
Capítulo 1	11
1. Antecedentes	11
1.1. Introducción	11
1.2. Energías Limpias.....	12
1.2.1. Energías Renovables.....	13
1.2.2. Energía Nuclear	15
1.2.3. Cogeneración eficiente.....	16
1.2.4. Repotenciación.....	17
1.2.5. Contexto de desarrollo y políticas de estímulos económicos	18
1.3. Sistemas Eléctricos de Potencia	19
1.3.1. Plantas Eléctricas.....	20
1.3.2. Centros de Consumo de Energía Eléctrica	25
1.3.3. Código de Red	27
1.4. Marco regulatorio	28
1.4.1. Ley de la Industria Eléctrica.....	28
1.4.2. Ley de Transición Energética	28
1.4.3. Mercado Eléctrico Mexicano.....	29
1.4.4. Generación distribuida	31
1.4.5. Certificados de Energía Limpia	32
1.4.6. CENACE.....	33
1.4.7. CRE.....	34
1.4.8. PRODESEN	35
1.5. Conclusión	36
Capítulo 2	38
2. Estudios Financieros de Proyectos de Energía Limpia	38
2.1. Proyectos de Energías Limpias y su evaluación	38
2.2. Indicadores clave de los estudios financieros.....	39

2.3.	Barreras, incentivos y condiciones más óptimas de desarrollo de proyectos	41
2.4.	Estudios Económicos de Proyectos de Energía Limpia	43
Capítulo 3	.....	48
3.	Análisis del precio mínimo de Certificados de Energía Limpia.....	48
3.1.	Análisis de los Estudios Financieros recopilados.....	48
3.2.	Escenarios de precios de energía, CEL, y tarifas eléctricas	53
3.3.	Modelos y supuestos de evaluación económicas de los proyectos.....	56
3.4.	Valor mínimo del precio de CEL	60
3.5.	El mercado y opciones para la viabilidad de los proyectos.....	64
3.6.	Conclusiones.....	67
Capítulo 4	.....	68
4.	Propuesta de cambios del Marco Regulatorio en materia de CEL.....	68
4.1.	Marco Regulatorio actual.....	68
4.2.	Experiencias en otros mercados	70
4.3.	Modificaciones en el Marco Regulatorio en otros países	73
4.4.	Operación equitativa del Mercado Eléctrico en México.....	76
4.5.	Conclusión	77
5.	Conclusiones.....	78
Bibliografía	.....	81
Nomenclatura	.....	86
Índice de figuras	.....	87
Índice de tablas	.....	89
Índice de Ecuaciones	.....	90
Anexo 1	.....	91

Introducción

A partir del uso de los combustibles fósiles en una forma desmedida se ha impulsado la economía, pero se ha descuidado el medio ambiente, de tal forma que a partir de finales del siglo XX se han comenzado a ver efectos en el clima global del planeta al grado que los científicos lo llamaron el Cambio Climático, que ha sido impulsado de forma antropomórfica, es decir, derivado de las actividades económicas que realiza el hombre. El Cambio Climático ha provocado el aumento de la temperatura global, sin embargo, la comunidad científica y los gobiernos han lanzado diferentes planes buscando contener el aumento promedio de la temperatura global en 2°C comparado con los niveles preindustriales, de estos planes el más reciente a la fecha de realización de este trabajo es el Acuerdo de París.

Para lograr los objetivos estipulados en el Acuerdo de París, es necesario que se cambie de paradigma económico para migrar hacia un desarrollo basado en la sustentabilidad, la eficiencia energética y el fomento de energías limpias para poder reducir las emisiones de Dióxido de Carbono emitidas por actividades humanas al medio ambiente, de ahí que una de las principales actividades humanas que emiten Gases de Efecto Invernadero (GEI), entre los que se encuentra el Dióxido de Carbono, es la generación de energía eléctrica, es por esto que el compromiso adquirido por México en el Acuerdo de París es generar el 35% de la energía eléctrica por medio de fuentes de energía limpia para el año 2024, las cuales no emiten directamente GEI al medio ambiente.

Para poder cumplir el objetivo de la generación eléctrica mediante fuentes de energía limpia fue necesario cambiar el esquema del sector eléctrico en México, donde antes de la Reforma Energética promulgada en 2014, el único actor del sector era la Comisión Federal de Electricidad (CFE) empresa productiva del estado. En CFE recaían todas las responsabilidades del sector desde la generación eléctrica hasta la comercialización a los Usuarios Finales como industrias y hogares, pasando por la transmisión de la energía eléctrica, la distribución, así como la planeación y operación de todo el Sistema Eléctrico Nacional.

Posteriormente a la promulgación de la Reforma Energética, se abrió el sector a empresas privadas, principalmente en la generación y la comercialización de la electricidad a Usuarios Calificados con demandas mayores a 1 MW, aunado a que la planeación y operación del sistema pasó a manos del órgano descentralizado del Centro Nacional de Control de Energía (CENACE), mismo que anteriormente formaba parte de CFE.

Antes de la Reforma Energética, la producción de energía eléctrica estaba solamente en manos de CFE donde más de la mitad de energía era producida mediante fuentes de energía convencional donde están catalogadas los derivados del petróleo como el Combustóleo, el Gas Natural, Gas Licuado aunado al Carbón. Todos estos tipos de tecnologías utilizan el calor liberado al momento de la combustión para producir vapor de agua y mover una turbina para poder producir energía eléctrica, sin embargo, la combustión llevada a cabo libera también gases como el Dióxido de Carbono, uno de los principales Gases de Efecto Invernadero, es por esto por lo que, a partir del Acuerdo de París se planteó buscar fuentes de energía alternativas que no produzcan emisiones de Dióxido de Carbono al generar energía eléctrica.

Dentro de las fuentes alternativas a las fuentes de energía convencional se encuentran las fuentes de Energía Renovables, las cuales están presentes en abundante cantidad en el país. Las principales Energías Renovables que han sido impulsadas alrededor del mundo son la Energía Hidráulica, Energía Solar, Energía Eólica y en menor medida la energía geotérmica y mareomotriz. Sin embargo, en México se catalogan como Energías Limpias incluso la Cogeneración y la Energía Nuclear.

Para el aprovechamiento de las Energías Limpias es necesario implementar la tecnología para poder transformar esa energía primaria en energía eléctrica. Esta tecnología lleva ya varios años en desarrollo, sin embargo, los costos de las centrales eléctricas que utilizan energía limpia son mucho mayores que los costos de las centrales convencionales debido a que son tecnologías con costos de instalación elevados.

De acuerdo con la información publicada en el PRODESEN 2019, la tecnología limpia con la que se produce más cantidad de energía eléctrica (10.2%) es la hidroeléctrica debido a que algunas de las centrales del país (por ejemplo Necaxa) llevan ya más de 100 años en operación, es decir, es una tecnología ya bastante madura en el sector; posteriormente se encuentran las centrales Eolo eléctricas con el 3.9% y la nucleoelectrica con 4.3%, de esa forma todas las tecnologías limpias que se encuentran generando energía en el país para el 2018 alcanzan el 23.2% y cómo se ve en la *Figura 1*, la tecnología fotovoltaica apenas representó en 2018 el 0.7% de la generación eléctrica total en México.

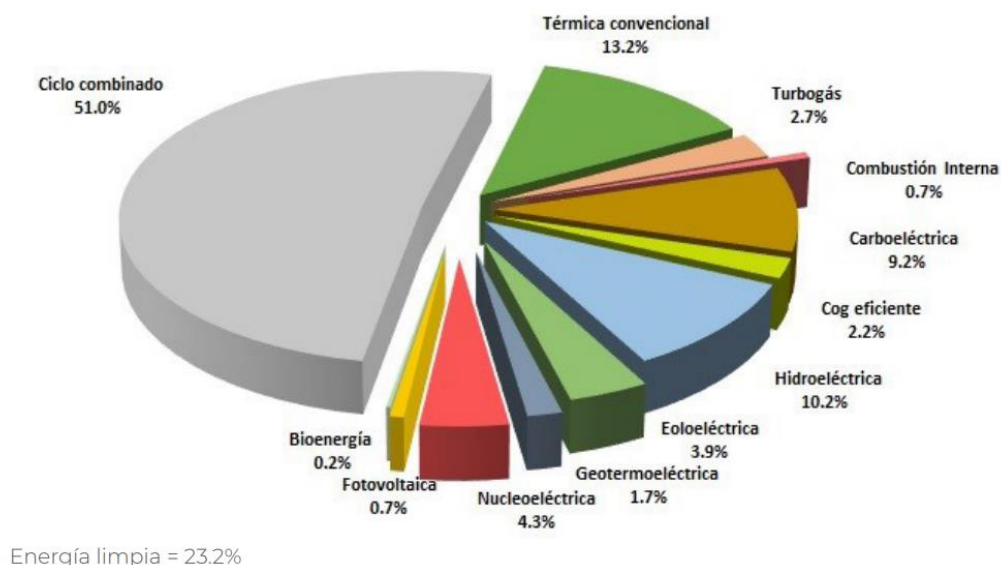


Figura 1. Generación por tipo de tecnología en 2018 México. Fuente: PRODESEN 2019

Como se menciona, México adquirió un compromiso para reducir sus emisiones de GEI en el Acuerdo de París, a partir de suscribirse a este acuerdo se reforman y promulgan diferentes leyes

como la Ley General de Cambio Climático, la Ley de Transición Energética así como la Ley de la Industria Eléctrica derivada de la Reforma Energética, en la cual se ha impulsado la instalación de centrales fotovoltaicas y eólicas a través de diversos mecanismos entre los que se encuentran la creación del Mercado Eléctrico Mayorista y dentro de éste se estableció un Mercado de Certificado de Energías Limpias.

Los Certificados de Energías Limpias son un instrumento que fue creado en diversos mercados eléctricos alrededor del mundo buscando incentivar el desarrollo de energías limpias. En el caso de México, a partir de la Reforma Energética se creó el Mercado Eléctrico Mayorista en donde se obliga a los Centros de Carga a adquirir CEL para acreditar que un porcentaje de su consumo anual está siendo suministrado por una fuente de energía limpia.

Estos CEL representan un ingreso adicional para las Centrales de Generación de Energía Eléctrica Limpias, ya que aparte de vender la Energía Eléctrica se obtienen ingresos adicionales por la comercialización de CEL.

Lo que se busca con la creación del Mercado de Certificados de Energía Limpia con la entrada en vigor de la Reforma Energética es incentivar el desarrollo de nuevas centrales que generen energía limpia para poder cumplir con los compromisos internacionales de generar el 35% de la Energía en el 2024 mediante fuentes de Energía Limpia, ya que estos CEL originalmente solo se entregan a las centrales que entraron en operación después del 11 de agosto del 2014.

Sin embargo, derivado del cambio de administración federal en el 2018 y buscando fortalecer a CFE se publicó en el DOF el 28 de octubre del 2019 una modificación a los Lineamientos que establecen los criterios para el otorgamiento de CEL donde se agrega un lineamiento que a la letra dice *“Las Centrales Eléctricas Legadas, previstas en la Ley de la Industria Eléctrica que generen energía eléctrica a partir de fuentes de Energías Limpias”* lo que implica que las centrales que generen energía eléctrica a partir de fuentes limpias que hayan entrado en operación antes del 11 de agosto del 2014 puedan ser acreedoras a recibir CEL, esto es, que centrales de CFE Legadas (en operación con la antigua ley) obtengan CEL. Esta modificación en los lineamientos de entrega de CEL crea una incertidumbre en el precio de los CEL, ya que al haber una gran oferta de un producto el precio es menor.

Derivado de la modificación de los Lineamientos de otorgamiento de CEL diversas empresas privadas interpusieron amparos alegando que el modificadorio del 28 de octubre del 2019 es una violación a la estabilidad contractual de los proyectos en perjuicio de la confianza de los inversionistas, con esto se obtuvo una suspensión a dicha modificación hasta que el Poder Judicial resuelva los amparos sobre estas modificaciones. [1]

La problemática que se presenta en el mercado es que los CEL se venden un mismo precio sin importar la tecnología por la que fueron generados, por lo que todos los CEL son tratados de forma igualitaria, sin embargo, cada tipo de tecnología necesita diferentes incentivos para que su instalación sea viable económicamente, esto debido que la madurez de cada tecnología es diferente. Este trato igualitario provoca que algunos tipos de tecnologías no puedan ser instalados por su inviabilidad económica debido a que el precio de CEL en el mercado no les permite a los inversionistas alcanzar el retorno de sus inversiones.

Este trato igualitario puede ser cambiado por un trato equitativo y solo reconocer CEL a las tecnologías que sí los necesitan, así como identificar las necesidades de cada central limpia instalada o que se presenta instalar, como su ubicación, capacidad o tecnología. Esto con la finalidad de que se diferencie el precio del CEL por cada tecnología o central y logren así su viabilidad económica al mismo tiempo que se incentiva la instalación de centrales limpias y se da certidumbre a las inversiones.

Para poder proponer un cambio en la forma en que se comercializan los CEL primero se debe demostrar que cada central tiene un precio mínimo de venta de sus CEL que permite alcanzar la viabilidad económica. Por esta razón, se recopilaron datos de 15 trabajos de investigación relacionados con la instalación de centrales eléctricas limpias para analizar su viabilidad económica mediante la reevaluación del modelo económico que se encuentra en cada una, manteniendo el precio de venta de Energía Eléctrica y sus costos de inversión, solamente con la peculiaridad de traer dichos valores al valor que tendrían en el 2020 mediante la inflación de las variables antes mencionadas.

Posteriormente si el resultado de un proyecto es no viable, se le agrega un valor de venta de CEL que permita que las variables de evaluación económica de los proyectos determinen su viabilidad, principalmente que el Valor Presente Neto (VPN) sea mayor a cero lo que indicaría que el proyecto se vuelve viable económicamente con un precio de venta de CEL asociado a ese VPN.

Se espera que en la reevaluación de los proyectos se encuentren tendencias en los precios dependiendo del tipo de tecnología a la que pertenezca cada proyecto, lo que permitiría plantear la solución de que dependiendo del tipo de tecnología sea el rango o el valor mínimo al que se debe vender el CEL. Aunado a esto se espera que algunos proyectos sean viables sin necesidad de comercializar CEL, lo que reforzaría la tesis presentada de un trato equitativo del Mercado de CEL.

El presente trabajo se divide en cuatro capítulos, donde en el primero se da un antecedente del Sistema Eléctrico en México, el marco regulatorio actual, así como una descripción breve de las principales centrales de generación con fuentes limpias. Aunado a esto se presentan los principales actores gubernamentales dentro del Mercado Eléctrico Mayorista en México, así como sus principales responsabilidades en materia de CEL.

Dentro del capítulo dos se encuentra la descripción de los indicadores económicos en la evaluación de proyectos como el Valor Presente Neto, la relación Beneficio Costo, la Tasa Interna de Retorno, entre otros. También se explica cómo se realiza el análisis económico de los proyectos, tomando como ejemplo algunos de los proyectos recopilados, también se encuentra descrito brevemente el panorama social y económico de las barreras o posibles incentivos para la instalación de las centrales eléctricas limpias.

Para el tercer capítulo se describe la metodología utilizada para realiza la reevaluación de los proyectos recopilados que se presentan al final del capítulo 2. Para realizar esta reevaluación es necesario suponer escenarios de venta de energía eléctrica y CEL; con estos supuestos se logra obtener un precio mínimo de venta de CEL para cada uno de los proyectos tomando como referencia que el proyecto obtenga una VPN mayor o igual a cero para finalizar con escenarios del mercado con las opciones mediante las cuales algunos proyectos podrían llevarse a cabo.

Para finalizar en el cuarto capítulo se muestran ejemplos de otros mercados en el mundo donde se impulsa la instalación de centrales eléctricas limpias con los mecanismos de tarifas *Feed-In*, mismas que permiten un incentivo más equitativo para los proyectos instalados en los países que trabajan bajo este esquema y cómo un sistema con estas características pudiera incentivar un Mercado de Certificados de Energía Limpia más equitativo en México tomando las mejores prácticas y la experiencia en otros mercados más maduros que el nuestro.

Capítulo 1

1. Antecedentes

1.1. Introducción

Para el inicio del desarrollo del presente trabajo, enfocado al análisis de precios de los Certificados de Energía Limpia en México para mejorar la viabilidad económica de proyectos de generación de energía limpia, es importante contar con un marco contextual en el que se desarrolle desde cómo se genera la energía en México hasta el Marco Regulatorio que actualmente rige la Industria Eléctrica del país.

Durante este capítulo se aborda en un inicio cómo se genera la electricidad en las fuentes de Energía Limpia y su definición de acuerdo con lo estipulado en la legislación a partir de la Reforma Energética del 2014 para después pasar a describir brevemente los tipos de tecnologías incluidas como Energía Limpia.

Posteriormente, se realiza la descripción de un Sistema Eléctrico de Potencia (SEP), así como cuál es su finalidad, cómo funcionan y una breve descripción de los elementos más importantes que forman parte de éstos, dentro de estos elementos se encuentran dos principales que son los Generadores de energía Eléctrica y las Cargas Eléctricas, que son las que consumen la energía que se está produciendo, estas Cargas Eléctricas se rigen a partir de este año con un documento expedido por la CRE en el 2016 conocido como “Código de Red” mediante el cual se establecen condiciones que las Cargas Eléctricas deben cumplir con la finalidad de que el SEP funcione de una forma Confiable y Segura para los usuarios.

A partir de este Código de Red se ingresa al Marco Regulatorio vigente al 2019 y se realiza la descripción del nuevo paradigma energético que trajo la Reforma Energética al país en 2014. Para esto se comienza con una breve descripción de la Ley de la Industria Eléctrica para continuar con la Ley de Transición Energética, que es el instrumento que fija metas de reducción de emisiones de carbono que van ligadas a el incremento de centrales de generación limpia. A partir de estas dos leyes se crea el Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) en el cuál todas las centrales generadoras de energía y los consumidores podrán competir en un piso parejo que no busca beneficiar ningún tipo de tecnología pero que busca incentivar el cumplimiento de las metas fijadas en la Ley de Transición Energética mediante los Certificados de Energía Limpia.

Para finalizar el capítulo se realiza la descripción de los órganos gubernamentales involucrados en el MEM que son la Comisión Reguladora de Energía (CRE) como ente regulador y que a su vez entrega los Certificados de Energía Limpia y el Centro Nacional de Control de Energía como el ente que está encargado de Operar el SEP y el MEM con total imparcialidad buscando siempre que sea confiable y seguro.

1.2. Energías Limpias

Para poder entender qué es un Certificado de Energía Limpia primero se revisa qué es la Energía Limpia y según la definición que se encuentra en la Ley de la Industria Eléctrica (LIE) publicada en 2014 son los procesos de generación de energía o fuentes de energía que no rebasen ciertos umbrales de emisiones o residuos de CO₂, sin embargo, menciona las principales Energías Limpias que se consideran en México, entre las cuales se encuentra el viento, energía solar, energía oceánica, geotermia, bioenergéticos, energía nucleoelectrica e hidroeléctrica, incluso procesos de cogeneración eficiente. [2]

Todas estas fuentes de Energías Limpias pueden ser acreedoras a Certificados de Energía Limpia, siempre y cuando acrediten los requisitos que establece la CRE (que se mencionan más adelante).

Dentro de este capítulo se describen brevemente las energías Limpias más destacadas y su funcionamiento básico, con el objetivo de entender por qué no emiten CO₂ a la atmósfera.

En la siguiente *Figura 2* se observa la clasificación general de las Energías Limpias en México según el Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias.

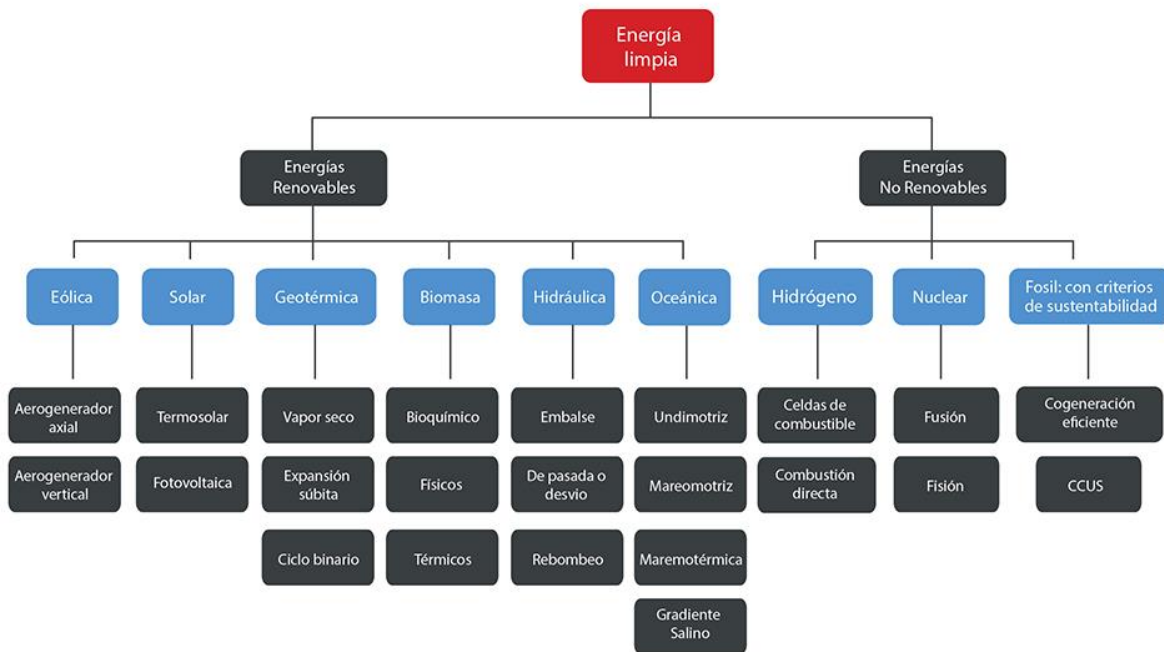


Figura 2. Energías Limpias INEL. Fuente: <https://dqel.energia.gob.mx/inel/CleanEnergies.html>. Consultada: 02 de noviembre de 2019

1.2.1. Energías Renovables

La definición que se encuentra en la página de la SEMARNAT define a las Energías Renovables como los tipos de energías que tienen la capacidad de regenerarse y que se tienen en abundancia en la naturaleza, consideradas inagotables y con impactos ambientales poco significativos. Dentro de las energías que se mencionan incluidas dentro de esta categoría son: energía eólica, solar, hidráulica, oceánica, geotermia y biomasa [4]. Es importante mencionar que esta definición omite la energía nuclear debido a que no es renovable pero sí es una fuente limpia.

Energía Solar

Dentro de la LIE se establece como Energía Limpia “la radiación solar en todas sus formas” [2] lo que deja la puerta abierta para los dos principales tipos de tecnología para el aprovechamiento de energía solar que se comercializan en el mundo, la energía solar térmica y la fotovoltaica.

Energía solar térmica

La energía solar térmica es aquella que aprovecha la radiación en forma de calor del sol para incrementar la temperatura de un fluido de trabajo y así poder transformarla ya sea en electricidad o calor para uso inmediato, almacenable o en forma química. [5] Para el caso de la generación de energía termoeléctrica se utilizan sistemas termo solares de concentración (STSC) que reflejan la radiación en forma de calor mediante espejos o lentes hacia un fluido de trabajo con la finalidad de que éste, o un fluido primario, transfieran su energía al vapor que está encargado de mover la turbina del generador de energía o a unas sales del sistema de almacenamiento térmico [6] como se muestra en la *Figura 3*. El detalle del funcionamiento de estas centrales se encuentra en el numeral 1.3 de este capítulo.



Figura 3. Planta Termo solar. Fuente: www.protermosolar.com/la-energia-termosolar/que-es-tipos-de-plantas-beneficios. Consultada: 16 de octubre 2019

Energía Fotovoltaica

La otra forma de energía solar que se emplea para la generación de energía eléctrica es la solar fotovoltaica, mediante la cual se genera electricidad a partir del efecto fotoeléctrico, el cual, básicamente nos dice que si se ilumina una superficie metálica con un haz de luz luminoso a una frecuencia se emiten electrones de la superficie de metal, [7] este efecto le valió el premio Nobel a Einstein en 1921.

Actualmente el efecto fotoeléctrico es utilizado para la generación de energía mediante la radiación que emite el sol e incide en un material semiconductor, principalmente Silicio enriquecido con otros elementos. La radiación solar en forma de luz incide en el silicio y desprende los electrones que se encuentran en este ocasionando que fluyan hacia el lado positivo del circuito formado por el silicio lo que provoca una corriente eléctrica que sirve para suministrar energía eléctrica, como se puede observar en la *Figura 4* [8].

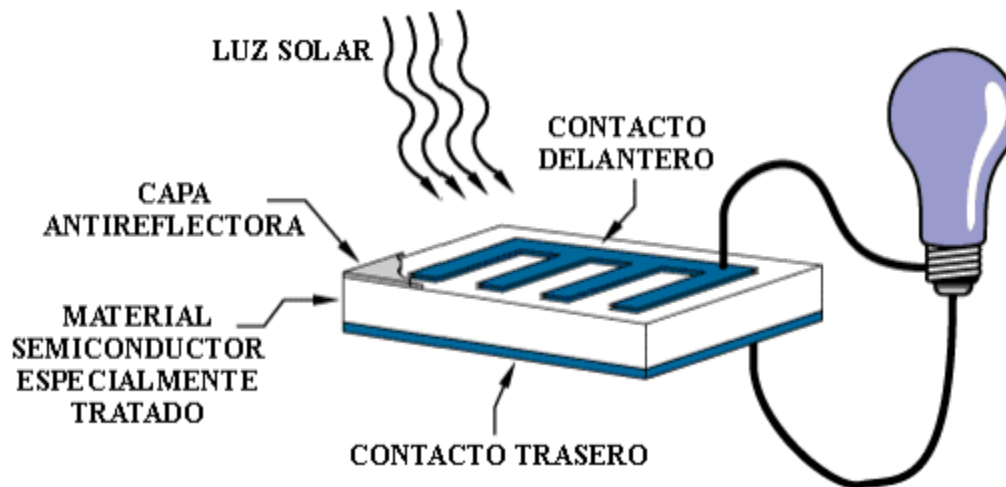


Figura 4. El efecto fotoeléctrico.

Fuente: http://juan.aquarondeblas.es/CIE_Experimentando_con_la_Ciencia/rsc/FotoVoltaica2.pdf Consultada: 21 de octubre de 2019.

Estos dos tipos de tecnología para el aprovechamiento de energía solar son las que se utilizan en la generación de energía, sin embargo, en la actualidad en México solamente operan centrales del tipo Solar Fotovoltaica.

Energía Eólica

La energía eólica es otra forma de energía que ha tenido gran auge en México en el siglo XXI, este tipo de energía es la que se obtiene de las corrientes del viento, estas corrientes se originan por la acción de la radiación solar en la superficie de la Tierra ya que ésta calienta el aire del ambiente y dado que las regiones cercanas al ecuador reciben una mayor radiación que los polos, el aire fluye hacia éstos, sin embargo, este flujo de aire se ve afectado por la rotación de la Tierra por lo que se

tiene un patrón dominante que observamos en la *Figura 3*. Aunado a este patrón, existen vientos locales provocados por variaciones en la temperatura local del aire, como es en el caso de zonas costeras, donde la diferencia de temperaturas entre la brisa de mar y tierra genera corrientes de aire. [9].

Estas dos formas de energía renovable son las que principalmente se buscan incentivar con el desarrollo del Mercado Eléctrico Mayorista a partir de la Reforma Energética del 2014, sin embargo, en México también se utilizan la Energía Hidráulica mediante las Centrales Hidroeléctricas y la nuclear, que para este último tipo de energía se explicará en el siguiente numeral.

1.2.2. Energía Nuclear

La energía que está contenida en el núcleo de un átomo es lo que se define como energía nuclear, que es la responsable de mantener unidos los neutrones y protones [10]. Esta energía puede aprovecharse de dos formas, a la unión de dos átomos se le conoce como fusión nuclear y el mejor ejemplo que tenemos es el Sol; a la acción de separar el núcleo de un átomo para formar núcleos más pequeños se le conoce como fisión nuclear, ambas formas liberan grandes cantidades de energía.

En la actualidad la fisión nuclear es la forma de la energía nuclear que se ha podido aprovechar para la generación de energía eléctrica a través de los reactores nucleares, dentro de éstos se produce la fisión de átomos de Uranio 235 o Plutonio 239 mediante el impacto de un neutrón adicional en su núcleo que provoca la separación del átomo, formando dos elementos de menor tamaño y de dos a tres neutrones más, en promedio 2.47 neutrones en la fisión del Uranio 235 [11], que generarán una reacción en cadena al impactarse con otros núcleos del combustible nuclear que se esté utilizando. La diferencia de masa que se observa en el proceso de fisión antes descrito se convierte en energía mediante la ecuación descrita por Albert Einstein $E=mc^2$ [10], el ejemplo gráfico se muestra en la *Figura 5*.

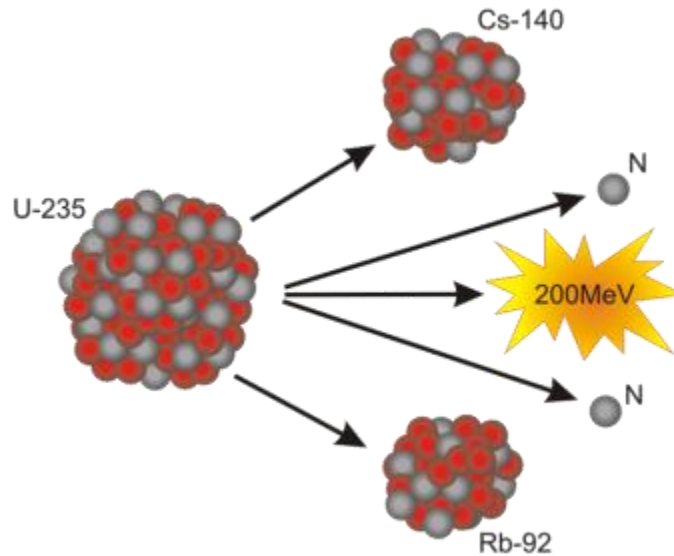


Figura 5. Fisión nuclear. Fuente: <https://energia-nuclear.net/que-es-la-energia-nuclear/fision-nuclear> Consultada: 30 de octubre de 2019

La energía liberada por la fisión de los núcleos transforma en calor, que se extrae mediante algún fluido refrigerante, como el agua, que al transformarse en vapor hace funcionar una turbina y genera energía eléctrica [12].

Como se observa en estos tres funcionamientos de energía Limpia, no existen emisiones de CO₂ al ambiente en el proceso de generación de energía eléctrica, esta es la razón por la cual dichas fuentes de energía son acreedoras a Certificados de Energía Limpia.

1.2.3. Cogeneración eficiente

Para la cogeneración eficiente, la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica la define como “La generación de energía eléctrica usando conjuntamente una energía térmica secundaria. Esto puede ser cuando la energía térmica no aprovechada de un proceso se utilice para la producción directa o indirecta de energía eléctrica o cuando se utilicen combustibles producidos en sus procesos para la generación directa o indirecta de energía eléctrica” siempre y cuando la cogeneración cumpla con la eficiencia mínima requerida que estableció la Comisión Reguladora de Energía en la Resolución Núm. RES/003/2011 publicada el 22 de febrero de 2011. Es decir, se considera como energía limpia la energía eléctrica generada con el residuo de la energía térmica utilizada en un proceso, esto permite una reducción en las pérdidas de energía térmica del proceso [13].

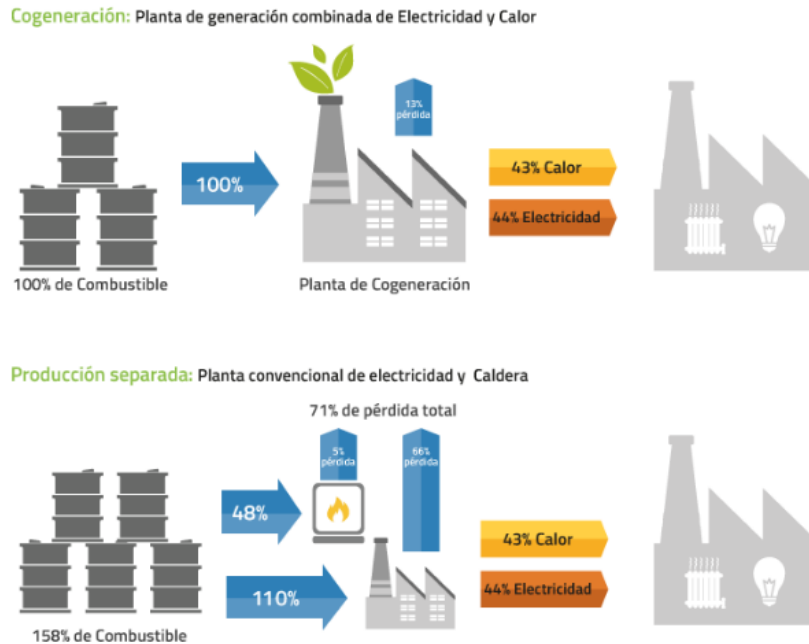


Figura 6. Cogeneración vs generación convencional. Fuente: <https://www.cogeneracioneficiente.cl/que-es-cogeneracion/> Consultada: 02 de noviembre de 2020

En la resolución antes mencionada se establecen los criterios para determinar si el sistema es de cogeneración eficiente, un ejemplo se muestra en la *Figura 6*. Si el sistema de cogeneración cumple con la eficiencia establecida en la resolución antes mencionada y además cumple con el proceso de acreditación de sistemas de cogeneración, podrá ser acreedor a CEL por la generación que éste entregue al Sistema Eléctrico Nacional.

1.2.4. Repotenciación

Dentro de las centrales que pueden ser acreedoras a Certificados de Energía Limpia se encuentran también las centrales Legadas (que se construyeron dentro del marco legal anterior) que tengan un proyecto de repotenciación y hayan entrado en operaciones con el proyecto de repotenciación después de la Reforma Energética.

Estas centrales podrán acreditar CEL por la energía generada por la capacidad adicionada en la repotenciación de la planta, es decir, si una planta generadora de 10 MW es repotenciada y se le agregan 5 MW de capacidad, únicamente podrá ser acreedora a CEL por la energía que generen los 5 MW adicionales derivados de la repotenciación de la planta.

La repotenciación de una planta consiste en el cambio de equipos antiguos por otros con mejor eficiencia y capacidad, muchas de las ocasiones esto implica un rediseño de la central donde se busca incrementar la capacidad [14].

En México se tienen ya operando algunos casos importantes de Repotenciación como es el caso de Laguna Verde, donde la Metodología, Criterios y Términos para Contratos Legados publicados por SENER en 2017 establece que los CEL que Laguna Verde puede acreditar debido al incremento de capacidad por la repotenciación es 12.93 % de la generación anual. En un estimado dentro de esta misma metodología los CEL aproximados que se acreditan a Laguna Verde por la Generación son 1,648,071 al año [15].

1.2.5. Contexto de desarrollo y políticas de estímulos económicos

Como se menciona en la Ley General de Cambio Climático del 2012, México se comprometió a reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero en un 30% para el 2020 y 50% en 2050 con una meta de producción de energía limpia del 35% para el 2024 tomando como línea base los valores del 2000. Derivado de esto, también se comprometió el país a que en 2035 el 40% de la energía fuese generada por fuentes de energía limpia y un 50% para el 2050 [16].

De esta manera, una vez establecidos los objetivos que México se comprometió a cumplir una vez firmado el Tratado de París, y que se vieron reflejados en la Ley General de Cambio Climático, se tuvo que implementar un nuevo marco jurídico que buscase hacer realidad estos objetivos de producción de energía con fuentes limpias y este marco jurídico se implementó con la Reforma Energética del 2014, a partir de ésta se crean mecanismos y políticas que buscan fomentar el uso de energías renovables, como podemos observar en la siguiente *Figura 7*:

Planes	Estrategias	Programas	Lineamientos y Normas
<ul style="list-style-type: none"> Plan Nacional de Desarrollo 	<ul style="list-style-type: none"> Estrategia Nacional de Cambio Climático Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios 	<ul style="list-style-type: none"> Programa Sectorial de Energía Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (2014-2018) Programa Especial de la Transición Energética Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables 2014-2018 Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 	<ul style="list-style-type: none"> Lineamientos que establecen los criterios para el otorgamiento de CELs y los requisitos para su adquisición Establecimiento de criterios normativos de Energías Limpias, Eficiencia Energética, Cogeneración Eficiente, Sistemas de generación limpia distribuida, Emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero Bases del mercado Eléctrico Acuerdos voluntarios para reducir la intensidad energética en sectores productivos con consumos significativos

Figura 7. Mecanismos y políticas públicas de fomento de energías renovables. Fuente: SENER.

Dentro de los mecanismos y políticas que observamos en la *Figura 7*, derivados de la Reforma Energética, se presentan estímulos económicos que buscan incentivar la inversión en la generación de energía limpia como son las ventajas fiscales en Instrumentos jurídicos y Certificados de Energía Limpia.

Los instrumentos jurídicos que establecen ventajas fiscales son la Ley de Impuestos Generales de Importación y Exportación y la Ley del Impuesto sobre la Renta. Dentro del primero se menciona que “Quedan exentos de pagos los equipos anticontaminantes y sus partes” y dentro de la segunda se establece que las inversiones únicamente podrán deducir mediante la aplicación del 100% de la maquinaria y equipo para la generación de energía proveniente de fuentes renovables [16].

En cuanto a los Certificados de Energía Limpia lo que buscan es promover la inversión en proyectos de generación eléctrica proveniente de energías limpias siendo estos CEL una forma de ingreso adicional a la venta de energía eléctrica, al cual únicamente podrán tener acceso los generadores que acrediten ante la CRE que durante el proceso de producción de energía eléctrica no se emiten emisiones de CO₂.

Estas políticas buscan incentivar el desarrollo de las energías limpias para diversificar la matriz de generación del Sistema Eléctrico Nacional (SEN) para lograr los objetivos antes mencionados. Esta matriz representa la generación del SEN por tipo de energético, lo que presentan este tipo de matrices son indicadores que muestran los diferentes tipos de tecnología que opera en un Sistema Eléctrico de Potencia como lo es el SEN. La matriz energética de México en 2017 con sus proyecciones a 2024 y 2031 se muestran en la *Figura 8*.

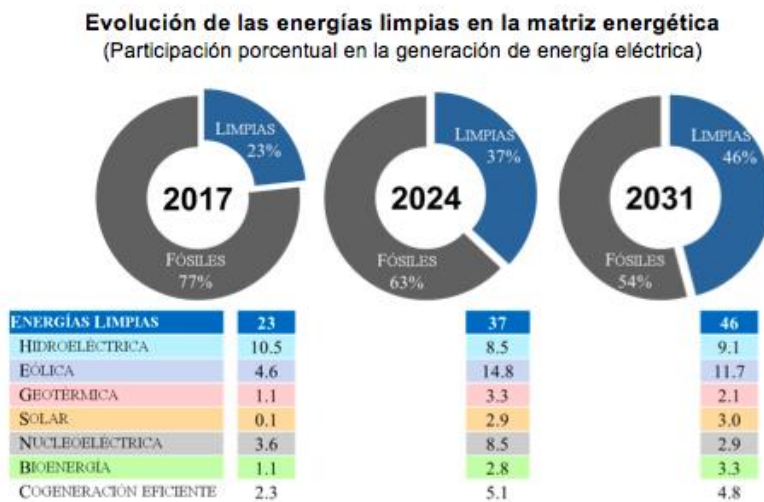


Figura 8. Matriz Energética 2017, 2024 y 2031. Fuente: <https://www.amedirh.com.mx/blogrh/sector-energetico-en-h/implementacion-de-la-reforma-energetica-energia-eolica/> consultada: 12 de noviembre de 2020

1.3. Sistemas Eléctricos de Potencia

El Sistema Eléctrico Nacional está compuesto por tres Sistemas Eléctricos de Potencia (SEP), el Sistema de Baja California Sur, el Sistema interconectado de Baja California y el Sistema Interconectado Nacional y cada uno de estos sistemas tiene la finalidad de llevar energía eléctrica de calidad y segura a todos los usuarios que se encuentren conectados a él. Esta energía se logra llevar a todos los puntos del sistema mediante la generación, transformación, transmisión y

distribución de la energía eléctrica, buscando siempre la mayor calidad y el menor costo posible [17].

Los principales componentes de un Sistema Eléctrico de Potencia son las plantas generadoras de energía eléctrica, que son las encargadas de convertir diferentes tipos de energía (térmica, solar, nuclear) en energía eléctrica, posteriormente se tiene la transmisión y distribución, encargadas de llevar la energía eléctrica de los puntos de generación a los puntos de consumo y para poder lograr esto es necesario algunos equipos adicionales que ayudan en la transformación de los parámetros de la energía eléctrica (voltaje, corriente) para facilitar su transporte, estos equipos usualmente son llamados subestaciones; finalmente tenemos las cargas o centros de consumo de energía eléctrica que son los usuarios finales a los que llegará la energía eléctrica, éstos son industrias, hospitales, hogares, etc.

Cada uno de estos elementos se abordará en los siguientes numerales, así como la normatividad que debe aplicarse para estos elementos del Sistema Eléctrico de Potencia.

1.3.1. Plantas Eléctricas

La energía eléctrica no se encuentra disponible en la naturaleza de forma útil, por lo que es necesario una planta o generador eléctrico para poder manipular la electricidad. Una planta eléctrica es un dispositivo que transforma una forma de energía en energía eléctrica, las conversiones de energía a electricidad más utilizadas son la energía térmica a electricidad, la energía química en electricidad, energía solar en electricidad, energía mecánica en electricidad y para cada una de estas conversiones existe un tipo de planta generadora de energía eléctrica diferente, de las cuales se describe brevemente las más utilizadas en México dentro de este punto.

Casi todas las plantas eléctricas que realizan las conversiones de energía utilizadas en México (exceptuando la energía solar fotovoltaica transforma la energía con el efecto fotoeléctrico descrito en el numeral 1.2) basan su funcionamiento en mover un alternador que produce energía eléctrica, este alternador, para las centrales que utilizan el vapor de agua para generar energía, está unido a una turbina que es la encargada de transformar la energía del vapor en movimiento para transferirlo al alternador mediante un eje [18].

Dependiendo de la fuente de energía que se quiere transformar, es el combustible que utiliza y con base en ello se les da el nombre a algunas centrales eléctricas. Las centrales térmicas utilizan la quema de combustibles fósiles para generar vapor y mover la turbina, las centrales nucleares utilizan la fisión nuclear como combustible para calentar el vapor de agua, las geotérmicas utilizan el calor interno de la tierra en el proceso del calentamiento del vapor y las solares utilizan el calor aprovechado por la radiación del Sol para calentar un fluido que mueva una turbina y generar energía eléctrica. Incluso las centrales eólicas utilizan un alternador unido a las aspas y éstas aprovechan la energía cinética del viento.

La capacidad instalada de todas las plantas en el país en el SEN es 75,685 MW, con un 70.5% en centrales convencionales y 29.5% a centrales limpias. La matriz energética de México publicada en el PRODESEN 2018-2032 muestra que la tecnología predominante hasta el 2017 es el Ciclo Combinado con una participación del 37% de la capacidad instalada en el país.

Es importante mencionar que, a octubre de 2019, según ASOLMEX, hay 55 centrales fotovoltaicas en el país, sin embargo, hasta que se publique el PRODESEN correspondiente se mencionará la información oficial en cuanto al número y capacidad de este tipo de plantas generadoras, que son las que más crecimiento han tenido en los últimos años derivado de las tres Subastas de Largo Plazo implementadas del 2016 al 2018.

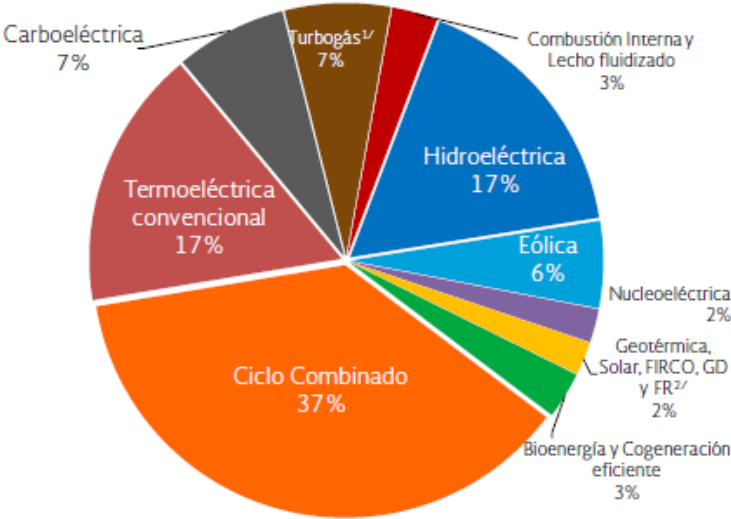
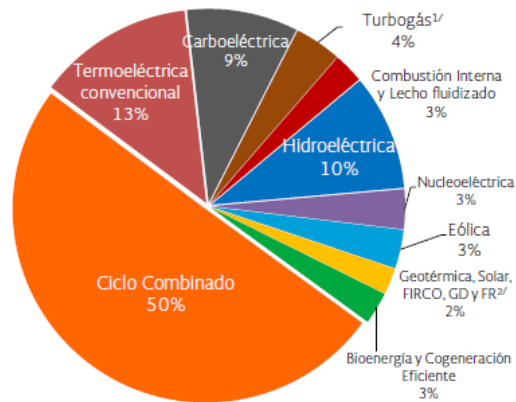


Figura 9. Capacidad Instalada por tipo de Tecnología. PRODESEN 2018-2032

La Figura 9 muestran la información en cuanto a capacidad instalada en el SEN, sin embargo, hay que recordar que los compromisos y metas estipuladas en la Ley General de Cambio Climático son en términos de generación de energía eléctrica y para esto, la Figura 10 nos muestra la Generación en el 2017 por cada tipo de Tecnología Instalada en México y como complemento, se observa en la Figura 11 que para el 2017 se generó el 21.1 % con fuentes de energías limpias, una meta aún lejana del 35% que se debe cumplir en 2024.

Dentro del 78.9% de generado con energía convencional se encuentran las tecnologías que utilizan fuentes de combustible fósil, que en México son los Ciclos Combinados, Termoeléctricas convencionales, Carboeléctricas, Lecho Fluidizado, Turbo gas y de Combustión Interna, sin embargo, no se ahondará en éstas para darle más enfoque a las Tecnologías Limpias, ya que éstas son las que pueden acreditar CEL.



^{1/}Incluye plantas móviles. ^{2/} Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO). Generación Distribuida (GD) de varias tecnologías y Frenos Regenerativos (FR). El total puede no coincidir por redondeo. Información preliminar 2017. Fuente: Elaborado por la SENER con datos de la CFE, la CRE, el CENACE y la Subsecretaría de Planeación y Transición Energética.

Figura 10. Generación de Electricidad por Tecnología. PRODESEN 2018-2032

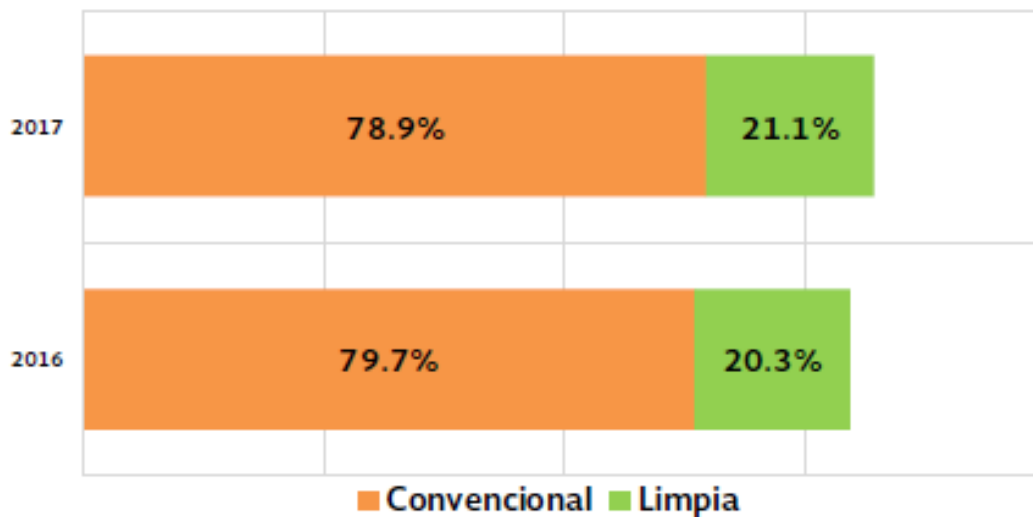


Figura 11. Generación de energía Limpia 2016 y 2017. PRODESEN 2018-2032

Plantas Generadoras Eléctricas Limpias

De acuerdo con el Artículo Décimo Sexto Transitorio de la Ley de Transición Energética, para que una fuente o proceso de generación eléctrica sea considerado como Energía Limpia y así poder acreditar CEL, las emisiones por cada MWh generado deben ser menores a los 100 kilogramos.

Aunado a esto, en octubre del 2019 la Secretaría de Energía publicó un modificadorio a la LIE en el que todas las centrales que cumplan con ser consideradas como Energía Limpia podrán ser acreedoras a CEL, esto incluye ahora a las centrales construidas antes de la Reforma Energética del 2013, por lo que se incluyeron las centrales Hidroeléctricas y Nucleoeléctricas con las que cuenta CFE Generación, es por eso por lo que, se abordarán estas tecnologías primero.

Geotérmica

Bajo el mismo funcionamiento se tienen las centrales Geotérmicas, con la diferencia de las convencionales y nucleares, el combustible que genera el vapor para mover la turbina y generar electricidad es el calor interno de la Tierra.

Como se ve en la *Figura 12*, se inyecta agua a una profundidad en la que el calor de la Tierra comienza a evaporar el agua, este vapor de agua se envía a un intercambiador de calor para que en un circuito secundario se envíe vapor a la turbina y ésta comience a girar para producir energía eléctrica.

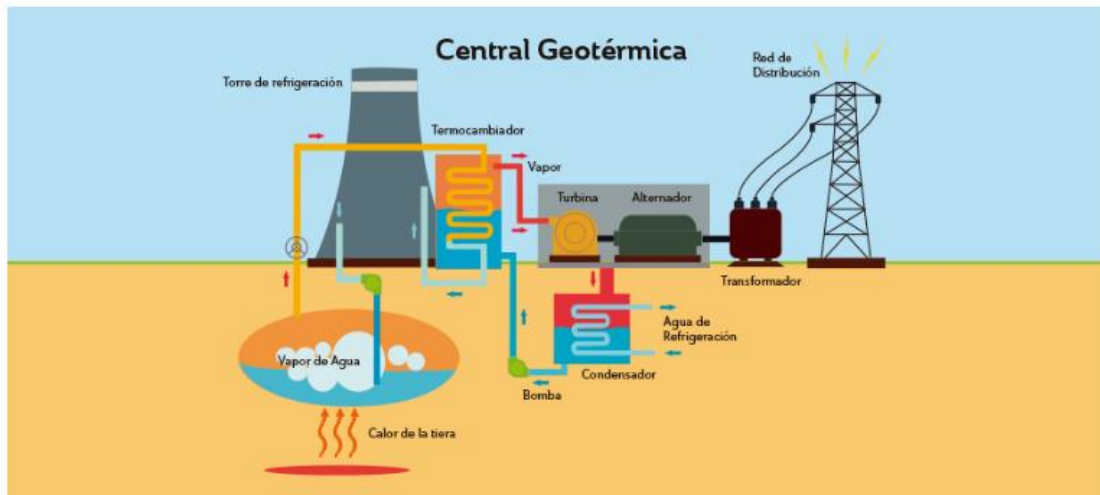


Figura 12. Central Geotérmica. Fuente: <http://www.latam-energy.com/wp-content/uploads/2017/06/diagrama-central-geotermica.png> Consultada: 22 de noviembre de 2020.

Hay 926 MW de capacidad instalados en México en los estados de Baja California, Baja California Sur, Michoacán y Puebla. Esta tecnología representó casi el 2% de la generación eléctrica en el país para el 2017 con ocho centrales geo termoeléctricas [19]. Con este recurso de generación eléctrico México se ubica en los primeros seis países con mayor capacidad instalada en el mundo.

Eólica

La energía eólica es otra tecnología de generación de energía eléctrica que ha tenido un crecimiento importante a partir del 2017, según datos de la Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMDEE) en su página de internet (<http://www.amdee.org/mapas-eolicos.html>) en 2017 se tenía una capacidad instalada de 4,006 MW, en 2018 se contaba con 4,935 MW y para el 2019 esperan terminar el año con una capacidad instalada de 6,294 MW, lo que implica un crecimiento mayor al 50% con respecto al 2017. En la *Figura 13* se observa que son dos Estados los que lideran la instalación de Energía Eólica en México, Oaxaca con 2,756 MW y Tamaulipas con 1,163 MW instalados.

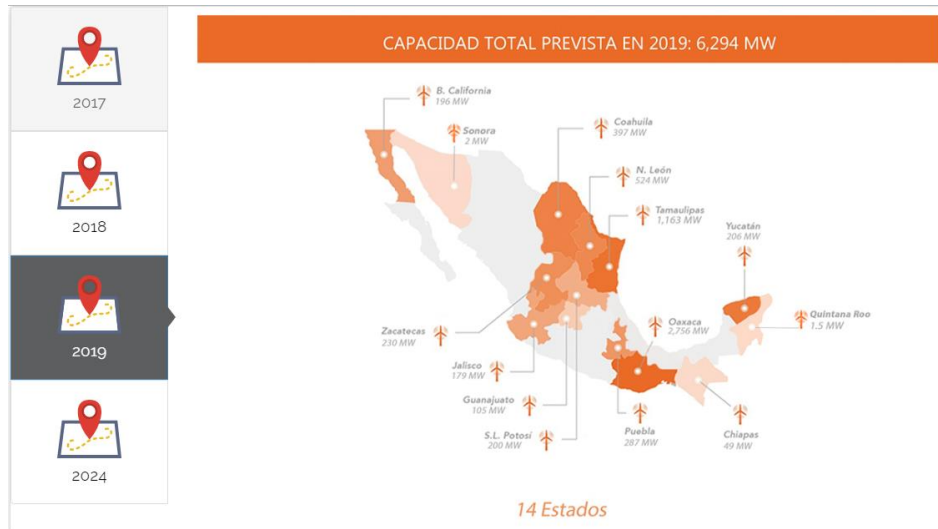


Figura 13. Mapa de capacidad eólica instalada. Fuente: <http://www.amdee.org/mapas-eolicos.html> Consultada: 28 de noviembre de 2019.

Con los datos oficiales del PRODESEN 2018-2032 se cuenta con 45 centrales eólicas al cierre del 2017 lo que representa el 3% de la generación total nacional. Como se mencionó en el apartado 1.2, esta tecnología convierte la energía cinética del aire que impacta a las aspas de los aerogeneradores provocando que las aspas de éstos giren, si la velocidad del aire es mayor a 3 o 4 m/s, al girar las aspas éstas mueven un eje conectado a un generador eléctrico y así poder transformar la energía cinética del aire en electricidad.

Fotovoltaica

En México, con datos de la Asociación Mexicana de Energía Solar a noviembre de 2019, que se muestran en la *Figura 14*, se contaba con 58 centrales Fotovoltaicas en operación con casi 4,000 MW de capacidad instalada, comparando esta información con la publicada por la SENER en el PRODESEN 2018-2032 en 2017 se contaba con 23 centrales con una capacidad instalada de 214 MW.



Figura 14. Centrales fotovoltaicas en México a noviembre de 2019. Fuente: ASOLMEX.

Todas las centrales mencionadas en este numeral cumplen con los requisitos de ser energías limpias, por lo tanto podrían ser acreedoras a CEL, sin embargo, para que el SEN funcione correctamente se necesita llevar esta energía a los puntos de consumo que generalmente están alejados de las zonas en las que se genera la energía eléctrica, pero antes de poder llevar la energía a los centros de consumo se debe realizar un paso intermedio, que es la transformación de la energía eléctrica para poder transmitirla con mayor facilidad por las redes eléctricas y este tema se abordará en el siguiente numeral.

1.3.2. Centros de Consumo de Energía Eléctrica

Los consumidores de energía eléctrica son todos aquellos aparatos que se encuentren conectados a una fuente de alimentación de electricidad, en el caso de México, los datos del Sistema de Información Energética (SIE) muestran que el sector con un mayor consumidor de electricidad es la industria, como se muestra en la Figura 15, ya que entre las empresas medianas y la gran industria consumieron casi el 60% de la energía eléctrica en 2017, mientras que los usuarios domésticos tuvieron un consumo cercano al 30% en el 2017. También el SIE muestra que los Estados que más consumo eléctrico tienen son Estado de México, Ciudad de México, Jalisco y Nuevo León.

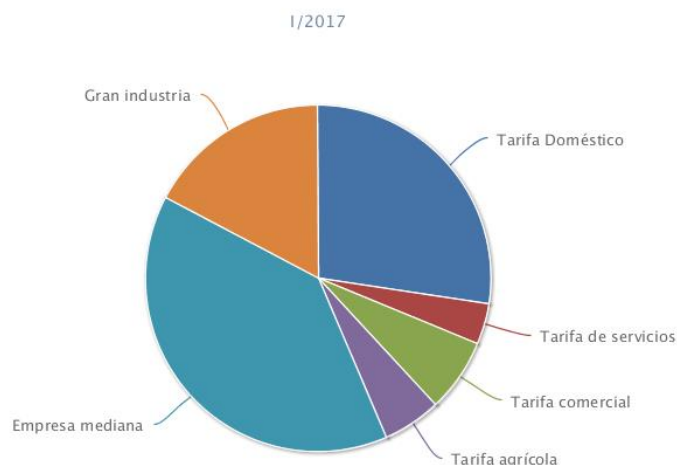


Figura 15. Consumo eléctrico por sector en 2017. Fuente: SIE

El consumo por Región de Control se tiene en el PRODESEN 2018-2032, en donde se muestra que la Región de Control que tuvo un mayor consumo fue la Occidental con poco más del 20% del consumo anual, seguida de la Región Central con casi el 20% y la Noreste con el 17%. Otro dato a tomar en cuenta en el consumo eléctrico es la temporada en la que se consume la mayor cantidad de energía eléctrica, donde el PRODESEN 2019 muestra que el mes con mayor consumo para el 2018 fue agosto con el 9.6% del consumo anual, seguido de julio, junio y mayo, todos estos meses con más del 9% de consumo anual, mientras el mes con menor consumo fue febrero con el 7%, esta temporada de mayor consumo coincide con la temporada de primavera y verano, donde el aumento de temperatura es muy significativo en los estados del norte del país, donde se alcanzan temperaturas superiores a los 35°C.

En el PRODESEN más reciente (2019-2032) se establece un pronóstico del crecimiento del consumo eléctrico por sector, donde se espera que para el 2032 el consumo entre las empresas medianas y la Gran Industria sea casi del 63% (ver Figura 16) ya que éstas presentan las mayores Tasas Media de Crecimiento Anual.

Sin embargo, para que este crecimiento tenga lugar de una forma ordenada, la CRE estableció un documento que tiene la función de poner un orden a las interconexiones de los centros de consumo eléctrico mayores a 1 MW que tengan lugar en el SEN, esto para buscar que el SEN esté operando de una forma confiable, segura y eficiente. Este documento es mejor conocido como “Código de Red” y se abordará dentro del siguiente numeral 1.3.3 mencionando puntos relevantes que se incluyen en dicho documento.

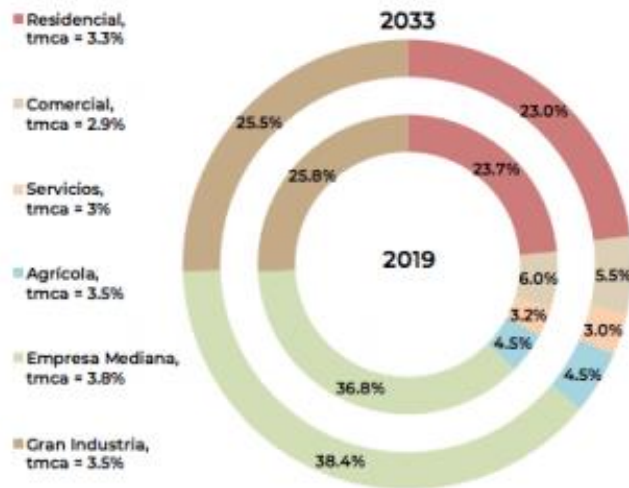


Figura 16. Pronóstico de consumo por sector 2019-2032. Fuente: PRODESEN 2019.

1.3.3. Código de Red

El Código de Red es conjunto de Disposiciones Administrativas emitidas por la Comisión Reguladora de Energía que aplica para todos los usuarios del SEN, ya sean Centros de Carga, Generadores o Transportistas que se encuentren conectados al SEN. El objetivo del Código de Red es establecer “los requerimientos técnicos mínimos para el desarrollo eficiente de los procesos de planeación, medición, control operativo, control físico, acceso y uso de la infraestructura eléctrica” [20].

Estos requerimientos técnicos establecen límites operativos y márgenes de reservas en equipos con el fin de que, en caso de presentarse la Contingencia Severa más Sencilla pueda ser soportada por el sistema sin violar los límites operativos establecidos y de esta manera se garantice una Condición Adecuada de Operación del SEN. Incluidas en estas disposiciones se encuentran también las características técnicas que deben tener los equipos de medición para que éstos puedan operar en el MEM.

Como ejemplo de algunos requerimientos operativos establecidos en el Código de Red se encuentran los siguientes límites de voltaje para el tipo de sistema, así como los límites de reservas de planeación y operativas para el SEN para cada tipo de Estado Operativo del SEN, por último, se muestran las posibles Acciones Remediales, las cuales buscan, mediante su ejecución, volver al Estado Operativo Normal.

Complementando los ejemplos de información establecida en el Código de Red, se encuentran las características que deben tener los generadores y centros de carga en cuanto a telemetría para su comunicación con CENACE, buscando también que éstos operen dentro de los límites operativos normales cumpliendo con los Criterios de Confiabilidad establecidos en el Código de Red, y en el caso de los centros de carga cumpliendo también con los límites en el Factor de Potencia.

1.4. Marco regulatorio

Como se menciona en el punto anterior, el Código de Red forma parte de todo un esquema de Disposiciones Administrativas, Leyes, Reglamentos y Manuales que son parte del Marco Regulatorio en materia de Electricidad que surge en México a partir de la Reforma Energética de 2014 donde la base de todo este marco Regulatorio es la Ley de la Industria Eléctrica, apoyándose en la Ley de Transición Energética.

A partir de estas dos Leyes se modifica el Mercado Eléctrico en México con la finalidad de una competencia justa ente los participantes de la industria donde también se busca incentivar las inversiones en Energías Limpias para lograr cumplir con las metas establecidas en el Acuerdo de París.

Para comenzar con este numeral, se explican los puntos más relevantes de la LIE y LTE para el tema que se desarrolla en el documento que son los Certificados de Energía Limpia.

1.4.1. Ley de la Industria Eléctrica

La Ley de la Industria Eléctrica menciona en el artículo 1 que la finalidad de ésta es el desarrollo sustentable de la industria eléctrica, el cumplimiento de las obligaciones en Energías Limpias y la reducción de las emisiones contaminantes derivadas de esta industria.

También dentro de las definiciones se incluye las Energías Limpias que, como se menciona en el punto 1.2, considera a aquellas fuentes de energía y procesos de generación de electricidad cuyas emisiones no rebasen los umbrales establecidos de las disposiciones reglamentarias que se expidan [2].

Posteriormente se habla en el capítulo 3 de las Obligaciones de Energías Limpias, en donde se menciona que la Secretaría de Energía es la encargada de establecer los mecanismos para el cumplimiento de la política de promoción de fuentes de Energías Limpias así como el requisito para adquirir Certificados de Energías Limpias el cuál será una parte proporcional del consumo eléctrico de los Centros de Carga y en el artículo 125 permite que estos Certificados sean negociables mediante Contratos de Cobertura a largo plazo, sin embargo, en el artículo 126 permite que los CEL sean negociables también dentro del Mercado Eléctrico Mayorista y establece que la CRE será la encargada de otorgar los CEL, validará la titularidad de los mismos así como emitir la regulación correspondiente.

A partir de lo publicado en la LIE se establecen las leyes secundarias, manuales y disposiciones generales para que se cumplan los objetivos establecidos en Ley en materia de Energías Limpias, sin embargo, también se complementa con otras leyes como lo es la Ley de Transición Energética, de la cual se resumen los puntos más importantes en cuanto a Energías Limpias en el siguiente numeral.

1.4.2. Ley de Transición Energética

La Ley de Transición Energética tiene por objetivo regular el aprovechamiento de la energía, las obligaciones de cumplimiento en materia de Energías Limpias mediante el incremento de su participación en la Industria Eléctrica, así como la reducción de contaminantes de la Industria Eléctrica y el apoyo a los programas enfocados a la Eficiencia Energética con la finalidad de hacer cumplir las metas establecidas en la Ley General de Cambio Climático.

De esta forma, para el enfoque que tiene este trabajo, se toman los puntos o artículos más importantes de la Ley de Transición Energética enfocados a las Energías Limpias y más específicamente a los Certificados de Energía Limpia.

En el artículo 7 de la LTE se establece que la secretaría de Energía será la responsable de establecer las obligaciones para la adquisición de Certificados de Energía Limpia que los participantes del Mercado deberán cubrir de forma anual, esto para promover que se cumplan las Metas en Energía Limpias establecidas y que la CRE será la encargada de verificar el cumplimiento de estas Metas. Las Metas de Energías Limpias son porcentajes mínimos de la generación de electricidad en México que deberá ser realizado por fuentes de Energía Limpia.

La Secretaría de Energía también es la encargada de promover el cumplimiento internacional de los compromisos de Aprovechamiento de Energías Limpias mediante instrumentos de política pública correspondientes, incorporar la instalación de Centrales Eléctricas Limpias en la planeación del crecimiento de la infraestructura eléctrica entre otras responsabilidades. Posteriormente en el capítulo IV y V de la LTE se hace mención de que en las subastas deberán participar los Suministradores de Servicios Básicos de manera obligatoria y en ellas se debe considerar el cumplimiento de las obligaciones de Certificados de Energías Limpias. Aunado a eso se menciona que la CRE será la encargada de llevar el Registro Público de CEL y emitirá las disposiciones relacionadas a este tema.

A grandes rasgos, en la LTE se establecen responsabilidades para la SE, CRE, CENACE y Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) con el fin de alcanzar los compromisos internacionales y se establecen los CEL como un mecanismo financiero que permita impulsar la creación de Centrales Eléctricas Limpias buscando cumplir con los compromisos internacionales.

1.4.3. Mercado Eléctrico Mexicano

Como resultado de la LIE y la LTE se cambia todo el paradigma de la forma en que se estaba comercializando la energía eléctrica en México al crearse el Mercado Eléctrico Mayorista el cual está regido por las Bases del Mercado y las Disposiciones Operativas derivadas de las Bases. Estas tienen los principios de diseño y operación del MEM, que definen las reglas y procedimientos que deberán llevar a cabo los Participantes de Mercado y las autoridades para la adecuada administración, operación y planeación del MEM [21].

Las Bases del Mercado ponen las bases de la estructura para que los Participantes de Mercado realicen transacciones de los siguientes productos:

1. Energía Eléctrica
2. Servicios Conexos

3. Potencia
4. Los productos anteriores vía importación o exportación
5. Derechos Financieros de Transmisión
6. Certificados de Energías Limpias
7. Los demás productos que se requieran para el funcionamiento eficiente del Sistema Eléctrico Nacional.

Como se muestra en la *Figura 17*, se implementó o se tenía pensado implementar un mercado para cada producto a comercializar, sin embargo, a enero del 2020 se tiene funcionando el Mercado de Corto Plazo y el Mercado para el Balance de Potencia, toda vez que las subastas de Derechos Financieros de Transmisión no se implementaron y las Subastas de Mediano y Largo Plazo fueron canceladas en 2019, tampoco existe un Mercado de CEL como tal, ya que todas las transacciones de CEL que hasta el momento se realizan son bilaterales, entre privados, ya sea para cumplir el requisito anual de CEL o por los contratos ganados en las primeras tres Subastas de Largo Plazo.

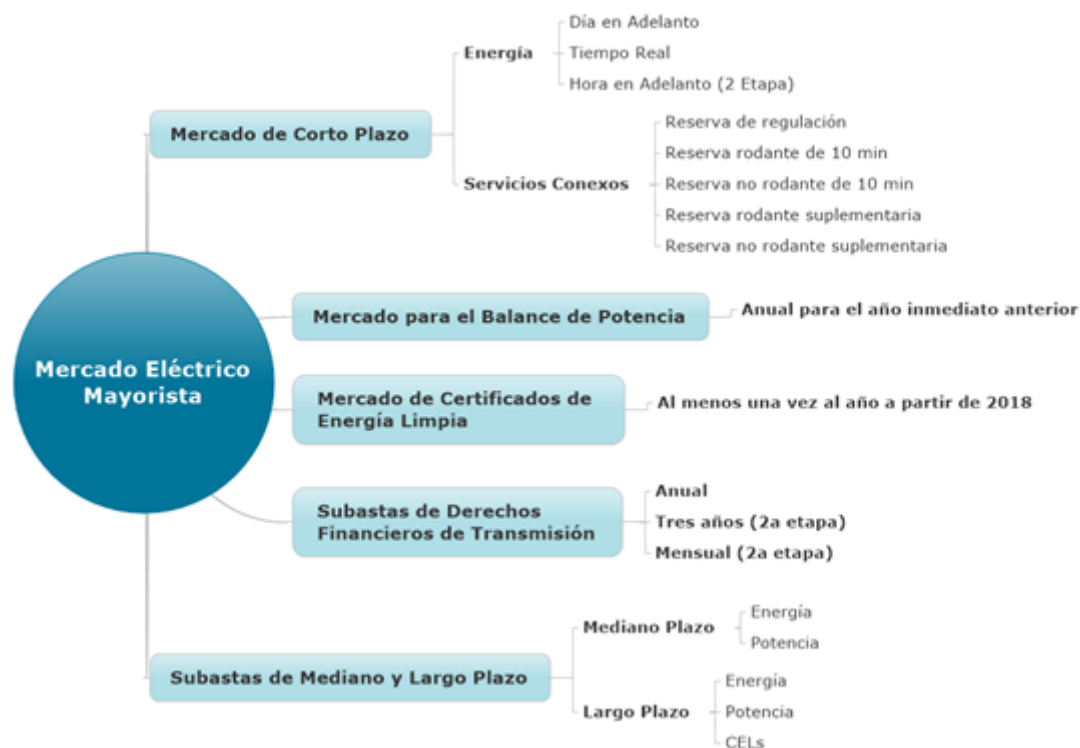


Figura 17. Estructura del MEM. Fuente: CENACE

Dentro del Mercado Eléctrico Mayorista las Centrales de Energía Limpia actualmente pueden comercializar Energía en el Mercado de Corto Plazo dentro del Mercado Día en Adelanto y Mercado Tiempo Real o a través de contratos Bilaterales con otros Participantes de Mercado.

También son acreedores para entrar al Mercado de Balance de Potencia si es que entregaron capacidad de generación dentro de las 100 horas críticas del año calendario, aunado a esto si cumplen con los requisitos establecidos por la CRE pueden ser acreedores a CEL para comercializarlos con otros Participantes de Mercado. Anteriormente en las primeras tres Subastas de Largo Plazo se dio un gran impulso al desarrollo de Centrales Solares donde se comercializaban con los Suministradores de Servicios Básicos o Calificados los productos antes mencionados a través de Contratos de Cobertura.

Adicionalmente a esto, los generadores menores a 0.5 MW de capacidad también pueden participar en el Mercado Eléctrico Mayorista, pero estos no podrán hacerlo directamente si no mediante un Suministrador.

1.4.4. Generación distribuida

Los generadores con capacidad menor a 0.5 MW se definen en la LIE como Generadores Exentos, ya que estos no requieren de un permiso de generación emitido por la CRE. Dentro de la categoría de Generadores Exentos se define la Generación Distribuida, en el Manual de Interconexiones de Centrales Eléctricas con Capacidad menor a 0.5 MW, como la generación de Energía Eléctrica conectada a un circuito de distribución que contenga alta concentración de Centros de Carga.

También en este Manual de interconexiones se definen las tres formas en las que la Generación Distribuida puede comercializar la energía eléctrica que produzca y estas son las siguientes:

- **Venta de Excedentes:** Esta venta se refiere a la energía excedente del generador después de haber cubierto las necesidades de los Centros de Carga conectados a él o en el caso de Abasto Aislado, la energía para la venta de excedentes o la compra de faltantes del Abasto Aislado.
- **Venta total de energía:** es la entrega de la totalidad de la energía eléctrica a las Redes de Distribución para su venta.
- **Venta de Energía Eléctrica de los Generadores:** En esta modalidad el generador sólo podrá destinar la venta de su energía a través de un Suministrador o dedicar su venta al Abasto Aislado

Toda la venta de energía eléctrica y Productos Asociados deberá realizar mediante un Suministrador de Servicios Básico o un Suministrador de Servicios Calificados cuando la central no comparta medidor con un usuario de Servicios Básicos, esto buscando representar a los Generadores Exentos en el MEM dentro de un régimen de competencia.

La Generación Distribuida está teniendo un gran auge gracias a las instalaciones residenciales y comerciales que reducen el consumo eléctrico de la Red, lo que genera ahorros en las facturaciones de los clientes. La gran mayoría de los generadores distribuidos que se están instalando son de tecnología fotovoltaica y estos también puede ser acreedores para recibir CEL si cumplen con los lineamientos que se estipulan en los Manuales, los cuales se describen brevemente en el siguiente punto.

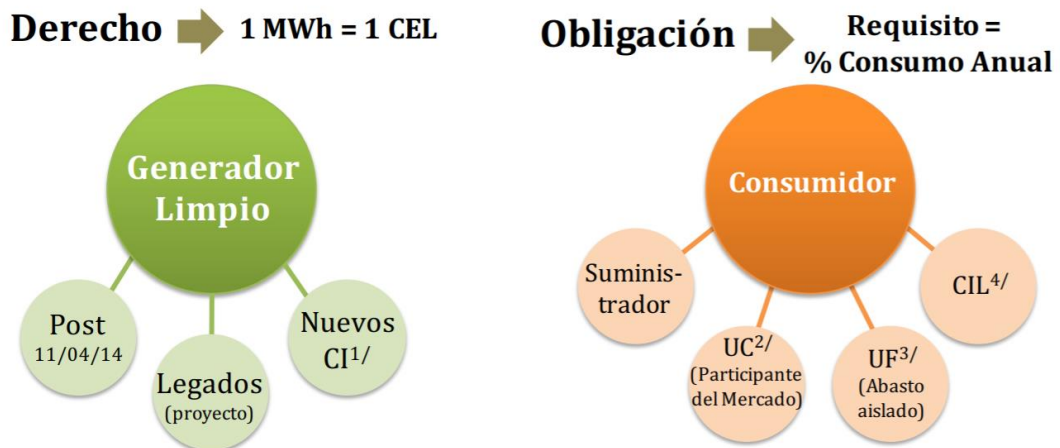
1.4.5. Certificados de Energía Limpia

Como se ha mencionado a lo largo de este capítulo, los Certificados de Energía Limpia son un instrumento mediante el cual las Centrales de Energía Limpia obtienen ingresos adicionales para cubrir sus costos de inversión y recuperar más rápidamente su capital. Ya que es un producto adicional que se comercializa en el MEM, lo que provoca que una central de Energía Limpia tenga ingresos por la energía producida y los CEL vendidos para que los usuarios obligados de adquirirlos cubran este requisito establecido en las Bases del Mercado.

De acuerdo con los lineamientos que establecen los criterios para el otorgamiento de Certificados de Energía Limpia publicados en el DOF el 31 de octubre de 2014, se establece que tendrán derecho a recibir CEL por veinte años los Generadores Limpios Distribuidos que entraron en operación después del 11 de agosto del 2014 y cumplan con haber generador energía sin el uso de combustibles fósiles, a éstos se les otorgará un CEL por cada MWh generado que podrá ser comercializado por la Central Limpia Distribuida mediante el Suministrador que lo representa en el MEM.

Dentro de la LIE se establece que la CRE será la encargada de otorgar los CEL a los Generadores Limpios Distribuidos a través del Suministrador que los represente y estos CEL estarán matriculados para cumplir los requisitos de monitoreo, reporte y verificación de cada CEL.

Las primeras Reglas de Mercado establecen que en el MEM existirá un Mercado de Certificados de Energía Limpia donde los Participantes de Mercado titulares de CEL pueden realizar ofertas de venta y compra de CEL. Con esta información CENACE determinará un precio de equilibrio de acuerdo con los CEL ofertados y los CEL demandados para posteriormente reportar las transacciones a la CRE para sus registros.



- 1/ Nuevos Contrato de Interconexión en términos de la LIE
- 2/ Usuarios Calificados
- 3/ Usuarios Finales
- 4/ Contratos de Interconexión Legados

Figura 18. Derechos y obligaciones CEL. Fuente: http://centrodeenergia.itam.mx/sites/default/files/centrodeenergiaitammx/eventos/adjuntos/2016/04/requisito_cel_2019_oliver_flores.pdf

De acuerdo con la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), los CEL representan el esquema de menor costo para reducir las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en comparación con otros esquemas [22]. Estos Mercados de Certificados de Energía Limpia se han implementado en diversos países del mundo, como Estados Unidos, Reino Unido, la Unión Europea, así como Australia, por mencionar algunos, como un instrumento que impulse el desarrollo de las Energías Limpias generando certidumbre a los inversionistas.

En la *Figura 19* se puede observar los países que tienen implementados sistemas como los CEL o similares, que buscan impulsar el desarrollo de las Energías Limpias en sus sistemas eléctricos para disminuir sus emisiones de GEI.

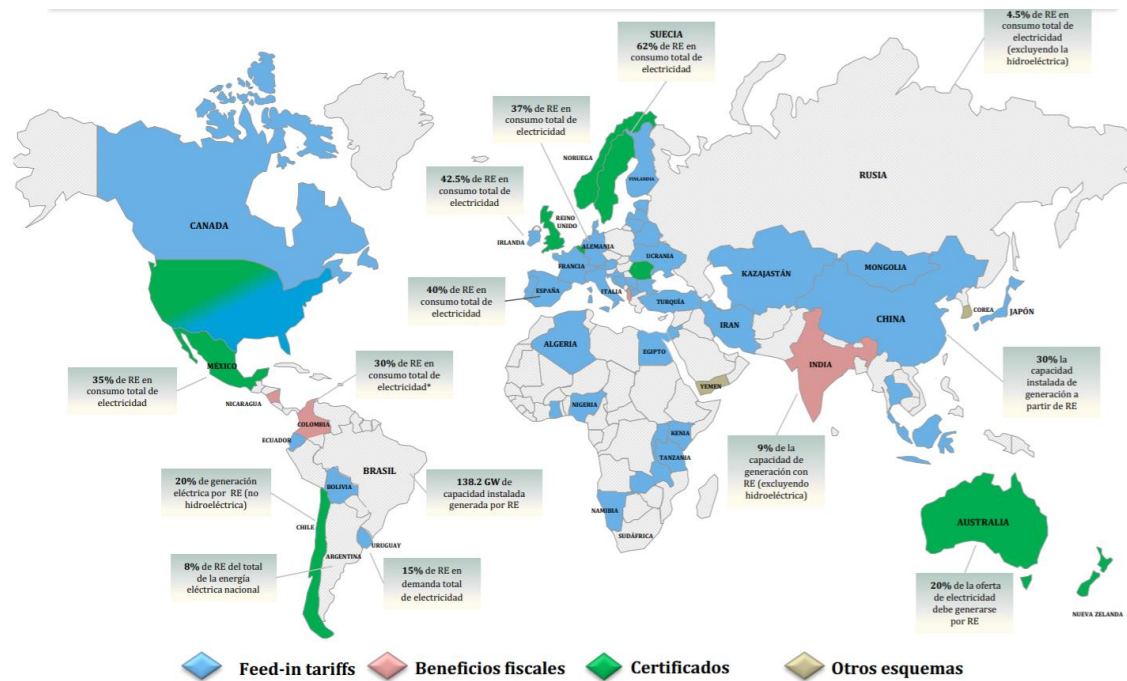


Figura 19. Esquemas para las Energías Limpias. Fuente: http://centrodeenergia.itam.mx/sites/default/files/centrodeenergiaitam.mx/eventos/adjuntos/2016/04/requisito_cel_2019_oliver_flores.pdf Consultada: 10 de diciembre de 2020

1.4.6. CENACE

El Centro Nacional de Control de Energía surge como organismo público descentralizado a partir de la publicación de la LIE adquiriendo importantes responsabilidades como son el Control Operativo del Sistema Eléctrico Nacional, la Operación del Mercado Eléctrico Mayorista y debe garantizar el acceso a la Red Nacional de Transmisión y a las Redes Generales de Distribución, también es el responsable de los programas de ampliación y modernización de la RNT y las RGD en cuyo caso se incorporarán al Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (PRODESEN) [23]. Se convierte en lo que los mercados internacionales se conocen como el Operador Independiente del Sistema (ISO por sus siglas en inglés) entre los que destacan el CAISO en California por mencionar un ISO internacional.

Actualmente CENACE se encuentra dividido en nueve Gerencias de Control Regional para facilitar la operación del SEN, un Centro Nacional encargado de coordinar la operación de las nueve Gerencias (CENAL) ubicado en la Ciudad de México y un Centro Nacional Alternativo (CENALTE) con ubicación en la Ciudad de Puebla.

Como se mencionó en el punto 1.4.3 CENACE es el encargado de la operación del Mercado Eléctrico Mayorista, en el cual se da la venta de energía y productos asociados entre los que se encuentran los Certificados de Energía Limpia, sin embargo, actualmente no hay un Mercado de CEL como se estipulaba en las Bases del Mercado si no que se da mediante contratos bilaterales, esto sucede porque CENACE coordina con la CRE la información de la energía Generada por cada Central Limpia para cada mes y poder así acreditarles CEL, mientras que para los Centros de Consumo CENACE envía los consumos mensuales de cada carga para que al final del año se haga su requerimiento anual de CEL, que será el porcentaje del consumo anual siguiente para cada año calendario del 2018 al 2021 de acuerdo con las publicaciones oficiales en el DOF:

- Requisito CEL 2018: 5%
- Requisito CEL 2019: 5.8%
- Requisito CEL 2020: 7.4%
- Requisito CEL 2021: 10.9%
- Requisito CEL 2022: 13.9 %

Con esta información pasa a ser responsabilidad de la CRE verificar que los usuarios obligados cumplan con los requisitos anuales y en caso de incumplimiento imponer las sanciones correspondientes, como veremos en el siguiente punto.

1.4.7. CRE

La Comisión Reguladora de Energía nace como un Órgano Regulador en Materia Energética con autonomía técnica, operativa y de gestión. El objetivo de la creación de la CRE es fomentar el desarrollo eficiente la industria, promover la competencia del sector energético asegurando la estabilidad, seguridad en el suministro y la prestación de servicios [24].

Dentro de las responsabilidades de la CRE en materia de Certificados de Energía Limpia se encuentran llevar el registro de los Certificados de Energía Limpia donde tendrán al menos la siguiente información:

- Matrícula
- Nombre
- Ubicación
- Tecnología de la Central Eléctrica Limpia
- Representante legal de la Central Eléctrica Limpia
- Fecha de Emisión.

Entre otra responsabilidad destacable de la CRE en materia de Energías Limpias está la verificación del cumplimiento del requisito anual de CEL para los usuarios obligados, donde en caso de que estos usuarios obligados no cumplan con su requisito anual, la CRE a través de la RES/248/2016

establece los criterios para determinar la imposición de sanciones aplicables que resulten de por el incumplimiento de las obligaciones en materia de Energías Limpias.

La sanción será una multa aplicable por cada MWh de incumplimiento en la adquisición de CEL donde el porcentaje de incumplimiento se define como se ve en la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Incumplimiento} = \frac{\text{Obligaciones de Energías Limpias – CEL liquidados en el Periodo de Obligación}}{\text{Obligaciones de Energías Limpias}}$$

Ecuación 1. % de incumplimiento de CEL. Fuente: Asesoría Energética con información de la CRE.

Donde el importe de la multa se determinará de acuerdo con la matriz publicada en la RES/248/2016, que toma como variables si se difirió el cumplimiento, el porcentaje de incumplimiento y si es primera vez o reincidencia como se observa en la Tabla 1.

Tabla 1. Matriz para determinación de multas por incumplimiento de CEL. Fuente: CRE.

Matriz para la determinación de multas por incumplimiento en la adquisición de CEL (*)
(Días de salario mínimo por megawatt-hora de obligaciones incumplido)

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

Posteriormente a obtener la multa, la CRE está obligada a notificarle al Participante del Mercado que haya incurrido en incumplimiento el PM tiene tres meses para regularizarse y cumplir con su obligación anual de CEL, posterior a eso CENACE notificará a los quince días a partir del vencimiento del plazo si el Participante Obligado pagó la multa correspondiente para que la Comisión pueda llevar su registro en el Sistema de Gestión de Certificados y Cumplimiento de Obligaciones de Energías Limpias.

Una obligación más que obtiene la CRE a partir de la Reforma Energética es la emisión de su opinión para el PRODESEN que se publicada cada año, ya que la planeación del Sistema Eléctrico es Responsabilidad de CENACE y este debe presentar los programas de Desarrollo y tanto la Secretaría de Energía como la CRE emiten sus opiniones con el fin de publicar un PRODESEN en línea con las políticas energéticas del país.

1.4.8. PRODESEN

El Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional es un programa con un horizonte a largo plazo que abarca 15 años, es decir, el último PRODESEN publicado abarca el periodo del 2019 al 2033 y es dirigido por la SENER buscando siempre incluir los planes de generación, transmisión,

distribución, comercialización y transición energética conforme requiera el desarrollo nacional [19].

Entre los principios prioritarios del PRODESEN 2019-2033 destacan el aumentar la generación eléctrica con energías limpias buscando cumplir los compromisos internacionales en materia de cambio climático y reducción de emisiones, garantizar el suministro de energía eléctrica conforme al crecimiento del país, hacer uso de la infraestructura de generación de CFE para abastecer el Suministro Básico y garantizar el acceso abierto y no discriminatorio a las RGD así como que la generación renovable intermitente deba cumplir con el criterio de no afectación a la Confiabilidad del SEN en forma nacional y regional.

El PRODESEN está formado por nueve capítulos entre los que destacan el Marco Constitucional y Legal donde se describen las Leyes, acuerdos y programas internacionales a los que está comprometido México; en los capítulos tres y cuatro del PRODESEN se mencionan los resultados de la Reforma Energética y la Nueva Política Energética en Materia de Electricidad, con lo que este PRODESEN intenta guiarse ahora por la soberanía y seguridad energética sin perder de vista el compromiso internacional plasmado en la LTE y la Ley General de Cambio Climático donde establecen la producción de Energías Limpias de al menos el 35%; posteriormente se tiene un capítulo de la infraestructura actual del SEN donde se mencionan las principales centrales del país, capacidad instalada por tipo de tecnología así como la generación por cada tipo de tecnología, es aquí donde se menciona que en el 2018 se tuvo un 23.18 % de generación limpia. Para el siguiente capítulo se tienen el consumo del año inmediato anterior, así como los pronósticos de Demanda y Consumo del 2019 al 2033 para los cuales se tienen tres escenarios, el escenario bajo, medio y alto.

Finalmente se incluyen en el PRODESEN el Programa Indicativo para la Instalación y Retiro de Centrales Eléctricas (PIIRCE) donde se detallan los planes de instalación y retiro de centrales de generación eléctrica también tomando como horizonte de planeación 15 años; así como los Programas de Ampliación y Modernización de la RNT y las RGD tanto las pertenecientes al MEM como las que no están incluidas en el MEM, recordando que la transmisión y distribución de la energía eléctrica son actividades exclusivas del Estado.

1.5. Conclusión

Como se describe a lo largo de este capítulo México tiene un compromiso internacional de producir el 35% con fuente de Energía Limpia para el 2024 y a partir de este compromiso adquirido se tuvo que cambiar el paradigma energético en México con la Reforma Energética publicada en 2014 donde se crea un nuevo Mercado Eléctrico Mayorista en el cual todos los Participantes de Mercado compiten en iguales condiciones.

Para la creación de este MEM se implementa un marco legal que da certeza a las nuevas inversiones mediante la publicación de diferentes Leyes, entre ellas la LIE y la LTE, en ellas se crea la CRE y el CENACE con sus responsabilidades establecidas, donde el CENACE tiene como objetivo operar el SEN y el MEM, mientras que la CRE como órgano regulador debe garantizar que los PM cumplan con sus obligaciones al participar en el MEM.

Dentro de este nuevo Mercado Eléctrico se crea un Mercado de Certificados de Energía Limpia donde se pueden comercializar CEL ya que la nueva legislación establece un porcentaje del consumo anual que tienen los consumidores de energía que cubrir mediante la adquisición de Certificados de Energía Limpia, los cuales se les acreditan por cada MWh generado a las Centrales de Energía Limpia hayan cumplido con los criterios que establece la CRE para su otorgamiento.

Estas centrales de Energía Limpia pueden ser Centrales Fotovoltaicas, Centrales Eólicas, Centrales Nucleares, Hidroeléctricas y Centrales de cogeneración eficiente que cumplan con los límites de emisiones establecidos por la SEMARNAT.

Por último, la SENER presentan los resultados de la Industria Eléctrica en el PRODESEN, donde cada año se publican la generación, consumo y demanda del año inmediato anterior, así como el horizonte extendido de planeación a 15 años con proyectos de modernización de las Redes Eléctricas, pronósticos de consumos y demandas, así como Centrales que se integrarán o retirarán del SEN.

Capítulo 2

2. Estudios Financieros de Proyectos de Energía Limpia

En este capítulo se muestran algunos estudios financieros sobre proyectos recopilados, principalmente de proyectos presentados en tesis, realizados para centrales de generación eléctrica mediante energía limpia. Para realizar esta investigación primero se debe identificar qué es una evaluación económica y financiera de un proyecto, así como los indicadores clave en los estudios financieros como el Valor Presente Neto y la Tasa Interna de Retorno. Una vez identificado si el proyecto es o no viable en su desarrollo, se toma como base la información obtenida previamente en el estudio financiero realizado se investigaron las barreras, incentivos y la condición actual del sector energético buscando que se promuevan unas condiciones óptimas para el desarrollo de estos proyectos, dentro de los incentivos se incluyen los Certificados de Energías Limpias.

Finalmente, para este capítulo se muestra la viabilidad de los Estudios Financieros recopilados tomando en cuenta el estudio realizado originalmente y trayendo su valor al 2020 para que todos los estudios partan de la misma fecha, para este capítulo se incluyen los estudios financieros con los supuestos originales, es decir, si en inicio no contaban con CEL no se incluirán hasta el siguiente capítulo.

2.1. Proyectos de Energías Limpias y su evaluación

Un proyecto es una forma de buscar una solución al planteamiento de un problema que requiere resolver una necesidad humana [25]. Si se toma esta definición como base se puede decir que un proyecto de energía limpia es una forma de buscar una solución al problema de generar energía mediante fuentes limpias para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, sin embargo, para la realización de una inversión y lograr llevar a cabo un proyecto es necesaria una base estructurada que marque la línea base que se espera seguir, para esto es que se realizan los estudios financieros de los proyectos.

Una vez realizado el estudio de un proyecto, se debe pasar a la evaluación de éste con la finalidad de tomar la mejor decisión posible para la realización del proyecto. En la evaluación de un proyecto se emiten datos, opiniones y prioridades que permiten tomar una decisión final de acuerdo con las necesidades del proyecto, deben realizarse por un grupo especializado, preferentemente, tomando en cuenta el o los objetivos generales del proyecto; de la misma forma, lo más válido en las inversiones privadas es plantear las premisas para la toma de decisiones fundamentadas en criterios matemáticos, ya que son universalmente aceptados, no obstante, pueden existir diferentes objetivos aparte de obtener el mayor rendimiento, como lo son mantener el mismo segmento del mercado, diversificar la producción o hacer que la empresa sobreviva [25].

Una metodología general de la evaluación de proyectos se puede ver en la *Figura 20*, donde se muestra que para llegar a tomar una decisión sobre el proyecto es necesario realizar un análisis que permita obtener conclusiones con información puntual que permita decantarse por alguna decisión.

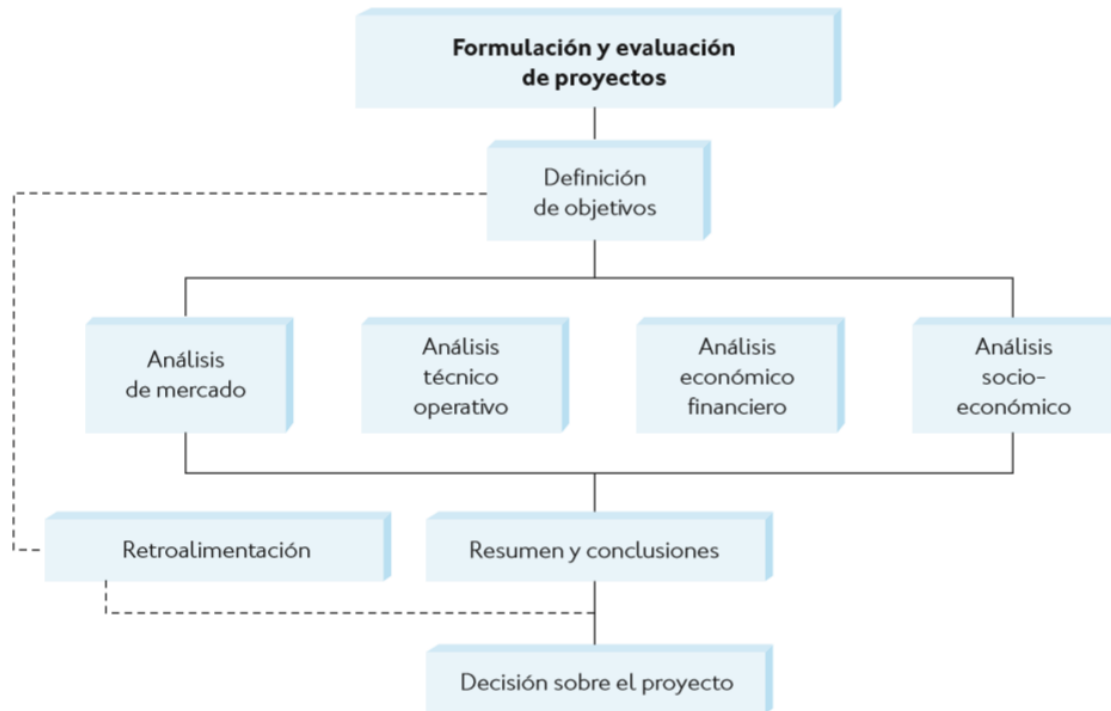


Figura 20. Metodología general de evaluación de proyectos. Fuente: Evaluación de proyectos, Baca Urbina [25].

En el caso de los estudios para proyectos de generación de energía mediante fuentes de energía limpia es necesario conocer el costo total de inversión, la capacidad de la planta que se desea instalar, la generación anual estimada, el precio estimado de venta así como contemplar los incentivos que permite la legislación para este tipo de proyectos, también los costos de operación y mantenimiento de la planta y, en caso de ser necesario, el costo asociado al combustible que permite generar la energía eléctrica todo esto se revisará con más detalle en el punto 2.4. El presente trabajo se encuentra enfocado hacia el análisis financiero de proyectos recopilados ya que en ellos se pueden obtener datos de los precios de los CEL o integrar el precio de los CEL en su evaluación, si es que no lo hicieron, para aprovechar el detalle de los análisis técnicos y de mercado ya realizados en el detalle de cada trabajo recopilado.

2.2. Indicadores clave de los estudios financieros

Como se presentó en el punto anterior, la evaluación del proyecto para la toma de decisiones debe estar fundamentada en premisas matemáticas que son indicadores que hacen más sencilla la toma de decisiones y se encuentran englobados en la evaluación económica del proyecto, algunos de ellos son la Tasa Interna de Retorno, el Valor Presente Neto, la Relación Costo Beneficio y el Periodo de Recuperación.

Para algunos de estos indicadores clave es necesario tener claro un concepto fundamental que es el valor del dinero en el tiempo ya que el dinero disminuye su valor real con el tiempo, es decir, 100 pesos de hoy valen más que 100 pesos dentro de un año, esto se debe a que el dinero disminuye su valor a una tasa similar a la inflación [25].

Para que 100 pesos de hoy tengan el mismo valor dentro de un año, deberán ser 100 pesos más la tasa de inflación anual, es decir, si la inflación anual para el próximo año es 3%, al final de año 103 pesos tienen en mismo valor que 100 pesos de hoy. Esta equivalencia del dinero a través del tiempo se establece con la siguiente ecuación:

$$F_n = P(1 + i)^n$$

Ecuación 2. Valor del Dinero en el Tiempo [25].

Donde F es el Valor Futuro, n es el número de años o periodos, P es la cantidad de dinero en tiempo presente e i representa la Tasa inflacionaria [25].

Valor Presente Neto

La definición que se encuentra en la literatura puede resumirse como la suma de todos los flujos de efectivo, llevados al valor de alguna fecha mediante el valor del dinero a través del tiempo, menos la inversión inicial llevada a la misma fecha. En otras palabras, es equivalente a sumar todas las ganancias esperadas menos los gastos que se necesitaron para producirlas [25].

Mediante este indicador clave la toma de decisiones se basa en el valor que se obtenga del VPN, si el VPN es menor a cero normalmente se rechaza el proyecto ya que esto indicaría que no se está recuperando el dinero que se invierte provocando pérdidas; pero si el VPN es igual a cero indica que el monto que se invierte es igual al que se recupera a través de la vida del proyecto, sin embargo, si en las actualizaciones del valor del dinero en el tiempo se incluye una Tasa de Descuento diferente a la Inflación, en ocasiones se usa la Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento (TMAR), esto indica que el proyecto es rentable ya que la TMAR incluye ya una tasa de ganancia en cada flujo de efectivo. Cuando el VPN es mayor a cero normalmente se aprueba el proyecto porque indica que a través de la vida del proyecto se logró recuperar la inversión inicial, obtener una tasa de ganancia deseada y al final de la vida del proyecto generó un mayor rendimiento al mínimo que se deseaba.

Tasa Interna de Retorno (TIR)

La Tasa Interna de Retorno es un indicador que indica la ganancia anual del proyecto o de cada inversionista. Esta Tasa se obtiene al igualar el indicador del Valor Presente Neto a cero como vemos en la ecuación siguiente, donde P es la inversión inicial, FNE es el flujo neto estimado y la i es una tasa de referencia [26].

$$VPN = 0 = -P + \sum_1^n \frac{FNE}{(1 + i)^n}$$

Ecuación 3. VPN igualado a cero.

Justamente la tasa de referencia representada por la letra i es la que permite encontrar la Tasa Interna de Retorno, ya que una vez que se igual a cero la ecuación, la tasa de interés que iguala el

valor de la inversión con la suma de los valores futuros de las ganancias es la TIR y se representa en porcentaje [26].

Si se compara esta ecuación 3 con la ecuación del VPN, se observará similitud, ya que dentro de la ecuación con la que se obtiene el VPN del proyecto, la i está representada por la Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento (TMAR) y de ahí se parte para la toma de decisiones a partir de la TIR ya que si la TIR es menor a la TMAR quiere decir que el rendimiento generador por el proyecto es igual o mayor al que se está solicitando mediante la Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento (TMAR), por el contrario, si la TIR es mayor a la TMAR indica que no se está generando ni siquiera el rendimiento mínimo solicitado por los inversionistas.

Si $TMAR \geq TIR$ lo recomendable es aceptar la inversión.

Si $TMAR < TIR$ es recomendable rechazar la inversión [26].

Por lo tanto, siguiendo estos dos indicadores claves, se concluye que un proyecto es una buena inversión si el Valor Presente Neto es mayor o igual a cero y la Tasa Interna de Retorno es menor a la Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento, aunado también a una Relación Beneficio Costo (B/C) mayor o igual a la unidad.

2.3. Barreras, incentivos y condiciones más óptimas de desarrollo de proyectos

Para el presente apartado se incluye un panorama actual de la Industria Eléctrica para el desarrollo de proyectos de energía limpia, dentro de este panorama se muestran las condiciones de las Subastas de Largo Plazo y cómo es que éstas incentivan los proyectos de energías limpias, así como su condición actual en la presente administración. Aunado a esto se presentan algunos incentivos fiscales que se le dan a los proyectos de energías limpias y se concluye con algunas condiciones que pueden hacer que el desarrollo de proyectos de energías limpias se impulse. Por lo anterior, se abordan algunas de las barreras sociales que no han permitido el crecimiento esperado o el desarrollo de todo el potencial del mercado de las energías renovables en México y es por este punto que se comienza a desarrollar el tema.

Barreras sociales que frenan el desarrollo de proyectos

En México se tiene un gran antecedente social de las problemáticas sociales que el impulso a las energías renovables conlleva en diferentes sectores de la población, al comenzar la instalación de generadores eólicos en el Istmo de Tehuantepec en 2006 una vez llevado a cabo el esquema de Temporada Abierta, realizadas antes la Reforma Energética.

Un claro ejemplo de oposición social y manipulación de la información, en aras de asegurar la instalación de las centrales eólicas en la Temporada Abierta realizada por CFE, es el que se hace referencia en la Revista Problemas del Desarrollo [27] donde el proyecto del consorcio Mareña Renovables reportó al Banco Interamericano de Desarrollo (BID) que a través de un proceso de consulta concluyó que no existía oposición al proyecto por parte de los grupos indígenas de la región, sin embargo, los comuneros de San Dionisio del Mar aseguraron que no existió tal consulta ni acuerdos para el uso de tierra donde sería instalada la central, motivo por el cual se paralizaron

las obras a finales del 2012 [27]. Diferentes casos como el citado de San Dionisio pueden encontrarse en diferentes lugares donde se instalaron proyectos eólicos en el Istmo debido a que las empresas limitaron la información compartida a las comunidades aunado al ausentismo de las instancias gubernamentales de exigir la difusión de la información entre la comunidad [27].

Particularmente el caso de Oaxaca mostró una barrera al momento de negociar los arrendamientos de tierra debido a que gran parte del régimen de propiedad es social, lo que implica negociar con comunidades entera o con los principales representantes de los ejidos, sin embargo, estos denunciaron la falta de información que permitiera negociar una mejor renta de las tierras tomando como base los rendimientos económicos que los proyectos esperaban tener a lo largo de su vida útil, debido a esto las tarifas de renta de las tierras es menor comparada con otros países como Estados Unidos o España [27].

Subastas de Mediano y Largo Plazo

Las Subastas de Largo Plazo son mecanismos realizados por el CENACE en los que se busca que los participantes de éstas puedan obtener Contratos de Cobertura Eléctrica que satisfagan las necesidades de las entidades que participan en éstas y de esta forma fomentar el desarrollo de la Industria Eléctrica, ya que al ganar algún Contrato de Cobertura mediante Subastas organizadas por CENACE es más fácil que alguna institución financiera otorgue préstamos o financiamientos a los participantes que resulten como vendedores de los productos ofertados en las Subastas.

En la Base 14 que se encuentra en las “Bases del Mercado Eléctrico” se establece que las entidades que pueden participar como compradores en las subastas son Suministradores de Servicios Calificados, Suministradores de Último Recurso, Usuarios Calificados Participantes del Mercado, así como Suministradores de Servicios Básicos, siendo estos últimos la única forma en la que pueden obtener nuevos Contratos de Cobertura; como vendedores pueden participar los Generadores y los productos que se pueden ofertan en las Subastas son Energía Eléctrica, Potencia y Certificados de Energía Limpia.

En México se realizaron tres Subastas de Largo Plazo, siendo la primera en 2015, la Segunda SLP en 2016 y la Tercera en 2017, dentro de las primeras dos Subastas de Largo Plazo el único Participante que participó como comprador fue un Suministrador de Servicios Básicos: CFE Suministro Básico, sin embargo, para la Tercer Subasta de Largo Plazo hubo otros Suministradores de Servicios Calificados que participaron como compradores. Posteriormente del 2018 en adelante, las subastas se han visto suspendidas por el cambio de administración y, al realizar este trabajo, no se visualiza una reactivación de las Subastas en el corto plazo.

La suspensión de las Subastas de Largo Plazo supone una barrera en el desarrollo de los proyectos de Energía Limpia en México, ya que en las primeras tres subastas las tecnologías que ganaron los CCE como vendedores fueron proyectos Fotovoltaicos, Eólicos, Geotérmicos y de Gas.

Para las Subastas de Mediano Plazo se dio un caso similar al de las SLP, únicamente se realizó una Subasta de Mediano Plazo en la que el producto que se comercializó fue Potencia, posteriormente fueron suspendidas estas subastas.

Contratos Bilaterales

Otro mecanismo que está permitido dentro de la actual legislación son los contratos bilaterales, que tienen una función similar a los CCE de las Subastas, estimular el desarrollo de proyectos de energía. Los contratos bilaterales pueden ser signados por dos entidades Participantes del Mercado Eléctrico en los que pueden comercializar Energía Eléctrica, Potencia y Certificados de Energía Limpia. Para la operación de estos proyectos únicamente es necesario que se le avise a la CRE y CENACE que se tienen contratos bilaterales, no es necesario informar el precio ni los términos en que se firman estos contratos.

De todas las centrales que busquen entrar al Mercado Eléctrico, en cualquiera de las modalidades que hayan conseguido vender su energía, contratos bilaterales o subastas de largo plazo, deben cumplir con la reglamentación de interconexión que establecen los Manuales de Mercado Eléctrico donde deben realizarse estudios para verificar la factibilidad de la interconexión de la central así como los posibles impactos que tendrán en la red, derivado de estos estudios, en ocasiones las autoridades pueden o no pedir que se realicen obras como cambio de transformadores, construcción de líneas de transmisión o subestaciones, que en ocasiones llega a retrasar la entrada en operación de las centrales.

2.4. Estudios Económicos de Proyectos de Energía Limpia

Para evaluar los proyectos de Energía Limpia se utilizan modelos económicos para evaluar su viabilidad como se ha mencionado a lo largo de este capítulo, utilizando diferentes indicadores como el Valor Presente Neto (VPN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) Tasa de Rendimiento Mínima Atractiva (TREMA), Relación Beneficio Costo (BC), entre otros que se describen con ejemplos más adelante. En el presente trabajo se describen tres ejemplos de Estudios Económicos realizados con antelación y publicados en diferentes tesis donde se muestran los indicadores obtenidos en su momento para definir si fue o es económicamente viable el desarrollo de estos proyectos.

En la búsqueda de información para obtener y en su caso recalculer el estudio económico de los proyectos de energía limpia es vital encontrar los costos de inversión, la generación anual estimada o su factor de planta estimado, así como los costos de operación y mantenimiento del proyecto; para los casos que se pueda, obtener la tarifa o precio de venta proyectado de la energía o el ingreso anual estimado. Con esta información es posible evaluar el proyecto y encontrar si es o no económicamente viable.

Tesis ejemplo 1.

Para la primera tesis de ejemplo, que consiste en un autoabastecimiento de Energía Eléctrica en mercados públicos del DF utilizando energía eólica [28] se presenta una propuesta de autoabastecimiento de energía eléctrica en tres mercados de la Ciudad de México, para la propuesta se establecen dos vertientes, una con tres aerogeneradores con capacidad de 850 kW y la otra con un aerogenerador de 2.3 MW para satisfacer las necesidades eléctricas de los mercados.

Para el primer caso, con tres aerogeneradores de 850 kW se tiene un costo de inversión de 70,900,457.34 en pesos del 2012 con un Factor de Planta del 25%, con una generación estimada anual de 1.67 GWh anuales de cada aerogenerador.

La evaluación económica presentada en dicha tesis muestra los siguientes datos en los indicadores económicos tomados de la Tabla 26 del trabajo mencionado:

Tabla 2. Evaluación Económica sistema de autoabastecimiento en mercados [28]

Tabla 26 Evaluación económica.

Evaluación Económica	
Trema	12.00%
VPN en 2012	-\$25,859,324
AE	-\$3,462,015
B/C	0.64
TIR	6.59%
TIRM	9.49%
PR	12.18

Como se puede observar en los resultados de la evaluación económica realizada en el trabajo antes mencionado, el proyecto no es viable económicamente ya que presenta un VPN menor a cero, una relación Beneficio Costo menor a uno y una Tasa Interna de Retorno menor a la TREMA deseada.

Tomando la otra vertiente del proyecto con un generador de 2.3 MW se tiene un Costo de Inversión de \$83,163,180.77 con el mismo Factor de planta de 25%, obteniendo los resultados de la Tabla 33 de la tesis antes citada:

Tabla 3. Indicadores económicos con aerogenerador de 2.3 MW. [28]

Pesos	Caso Base
Trema	12.00%
VPN en 2012	-\$38,122,048
AE	-\$5,103,733
B/C	0.54
TIR	4.94%
TIRM	8.62%
PR	13.72

Para este proyecto, con las condiciones planteadas en el momento de la realización de la tesis, no es viable económicamente según la evaluación realizada y además en ese momento no había ya

mercado de bonos de carbono y los CEL aún no existían, sin embargo este proyecto es de los que son provechosos para el desarrollo del presente trabajo y muestran con claridad como la inclusión de ingresos adicionales por vía de la venta de los CEL se logra mejora su viabilidad, el análisis se presentará en el capítulo 3, ya que buscaremos el precio de los CEL que hagan que el proyecto sea viable al menos con un VPN mayor o igual a cero.

Tesis ejemplo 2

La segunda tesis que se utiliza de ejemplo se estudia la viabilidad Técnica y Económica de un sistema de autoabastecimiento eléctrico para un supermercado con base en generación Fotovoltaica [29], para este segundo ejemplo utilizado para la realización del presente trabajo se tiene una propuesta de un sistema Fotovoltaico en un supermercado ubicado en Quintana Roo México. La propuesta se realiza con un sistema fotovoltaico de 1.45 MW de capacidad, con una Generación anual aproximada de 3,400 MWh; este sistema representa una inversión inicial de \$28,499,304 en pesos del 2014 con una tarifa de venta de energía de 1,453 \$/MWh, esta tarifa si bien no está explícita en el trabajo, se obtuvo al dividir la generación estimada anual entre el ingreso estimado anual, se realiza de esta manera ya que el proyecto está pensado para un auto abasto, lo que permite tomar las Tarifas de CFE en los diferentes intervalos horarios estipulados en la anterior metodología de cálculo, con un precio de energía en horario base, otro en horario intermedio y el más caro en horario punta.

De acuerdo con los resultados presentados en la Tesis [29], los resultados obtenidos se muestran en la tabla 4.19 de la tesis antes mencionada:

Tabla 4. Tabla Resultado análisis económico Tesis auto abasto supermercado. [29]

Tabla 4.19 Resumen de análisis económico

Trema	18.00%
VPN en 2014	3,963,265
AE	\$724,956
B/C	1.1391
TIR	20.21%
TIRM	18.62%
PR simple	5.50

Como se observa en la Tabla 4, este proyecto de auto abasto arroja un resultado viable del análisis económico con un VPN del 2014 mayor a cero (\$3,963,265), una relación Beneficio Costo mayor a 1 (1.1391) y una TIR mayor a la TREMA, y además en ese momento no había ya mercado de bonos de carbono y los CEL aún no existían. Este proyecto no necesitaría apoyo de los CEL a menos que alguno de estos indicadores sufrieran cambios e hicieran que el proyecto no sea viable económicamente.

Tesis ejemplo 3

En este tercer ejemplo de tesis se plantea el proyecto para la construcción de una central Fotovoltaica de 10 MW de capacidad en el municipio de Jajalpasco en Puebla [30]. Dentro del

proyecto se presenta la ubicación donde se propone la construcción de la central, así como los componentes necesarios para su puesta en marcha, lo que arroja una inversión inicial de 419,129,213 pesos del 2017.

Ente proyecto de tesis realizó un estudio de Mercado para la venta de energía eléctrica, esto con la finalidad de evaluar el precio al cual se podría vender la energía eléctrica y poder realizar el estudio económico; para la realización del estudio se toma el precio promedio obtenido de las ofertas ganadoras de las Subasta de Largo Plazo de 2016 como se muestra en la Tabla 5:

Tabla 5. Ofertas ganadoras SLP 2016. [30]

Ofertas ganadoras de energía fotovoltaica en Subasta de Largo Plazo 2016 Pesos/MWh

	Oferta mínima	Promedio	Oferta máxima
Energía	335.03	345.35	632.01
CEls	167.01	259.13	300.21

Aunado a la información antes mostrada del precio de energía y la inversión inicial, dentro de este ejemplo se presenta una generación promedio diaria de 106.98 MWh/día, lo que en un año representa 39 GWh. Una vez que se identifica esta información se muestra en la Tabla 6 el resultado obtenido por el autor de algunos indicadores económicos que se muestran a continuación:

Tabla 6. Resultado económico de la central de energía limpia en Jajalpasco, Puebla [30]

Concepto	Monto
VPN _{después de impuestos}	• -104'549,677 pesos
TIR _{después de impuestos}	• 1.79%
Periodo de recuperación de la inversión	• N/D

Como conclusión de la evaluación económica se tiene que como el VPN es menor a cero, el proyecto no es viable y no se tiene un periodo de recuperación de la inversión, esto puede ser debido a distintos factores como el precio de la energía bajo o un alto costo de inversión [30], sin embargo, esta tesis es bastante interesante debido a que se realiza con resultados financieros después del pago de impuestos, también el análisis económico del proyecto con los tres escenarios, el precio mínimo, el precio promedio y el precio máximo de las ofertas ganadoras en la SLP 2016 mostrando como resultado que, en el momento de la realización de este proyecto, en el

escenario que el precio de energía y CEL fuesen los precios máximos de la SLP 2016 el proyecto sería económicamente viable como lo muestra el autor [30] en la *Figura 21* de sensibilidad de precios de energía:

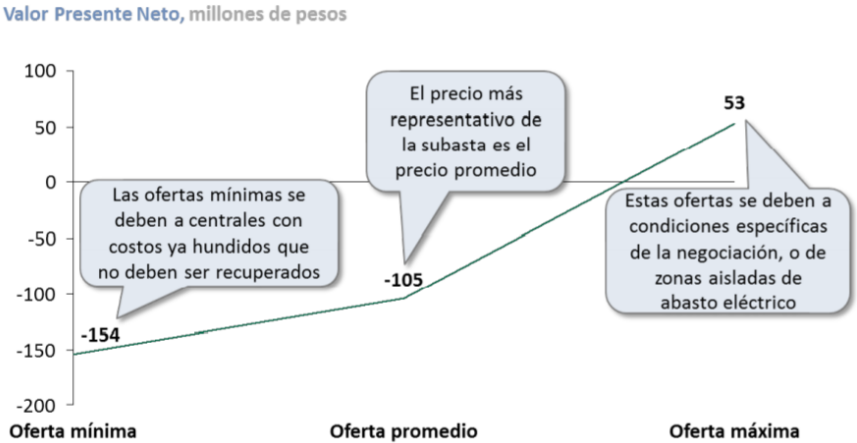


Figura 21. Sensibilidad del VPN al precio de venta de energía. [30]

Este último proyecto presentado es bastante ilustrativo para el objetivo de este trabajo, ya que al final realiza la evaluación en la que el proyecto se vuelve económicamente viable variando el precio del paquete de energía más CEL tomando como base los precios mostrados en la SLP del 2016, para el caso de estudio que se trabaja se realizará un estudio similar, sin embargo, para esta tesis solo se modificará el valor de los CEL, haciendo que éstos hagan viable los proyectos recopilados.

Capítulo 3

3. Análisis del precio mínimo de Certificados de Energía Limpia

En este tercer capítulo se presenta el análisis económico de los proyectos de tesis recopilados para su evaluación económica, se comienza con la metodología de la realización de estos modelos y los resultados obtenidos al traer a valores del 2020 los precios de energía y costos de inversión y operación que se tenían cuando se realizó y publicó el trabajo.

Una vez replicado el análisis económico de cada proyecto se revisaron los escenarios de precios de energías o tarifas eléctricas del momento en el que se realizó el estudio, algunos de estos escenarios son el autoabastecimiento eléctrico o la interconexión a la red de CFE de proyectos de Generación Distribuida que aprovechan las tarifas domésticas establecidas para CFE.

Posteriormente se muestran los supuestos tomados para la evaluación de los proyectos antes recopilados de los cuales se trajo su valor al 2020, como parte de esta evaluación se busca tener el VPN igual a cero o lo más cercano posible a cero modificando el valor de los CEL vendidos por el generador para que así, este precio de los CEL haga que el proyecto sea económicamente viable se compare con los diferentes proyectos y precios obtenidos de la recopilación de trabajos.

Finalmente se presentan algunas opciones para lograr que los proyectos sean viables y así se fomente su construcción, entre ellas se encontraban las Subastas de Largo Plazo que el gobierno canceló a finales del 2018, sin embargo, existen muchas otras alternativas dentro del MEM.

3.1. Análisis de los Estudios Financieros recopilados

Para la realización de este trabajo se utilizan proyectos de tesis presentados con anterioridad en los cuales se estudiará la viabilidad económica de la instalación de alguna central de generación con energía limpia, es indispensable que fuese una central de las tecnologías catalogadas como energías limpias en la LIE ya que evaluaremos el precio de los CEL y, recordando el capítulo 1, solo las centrales limpias son acreedoras a CEL.

Para visualizar de mejor manera el trabajo realizado se presentan algunos de casos de los proyectos que se ejemplificaron en el numeral 2.4 anterior.

Tesis ejemplo 1

Como se revisó en el punto 2.4 del capítulo anterior, esta tesis contiene dos casos, uno con tres generadores de 0.850 MW de capacidad y un segundo caso con un aerogenerador de 2.3 MW.

Retomando lo presentado anteriormente, el primer caso, con tres aerogeneradores de 850 kW tiene un costo de inversión de \$70,900,457.34 pesos del 2012 con un Factor de Planta del 25%, con una generación estimada anual de 1.67 GWh de cada aerogenerador. Este valor de inversión

inicial corresponde a dinero del 2012, por lo que se utilizó una actualización mediante la inflación de enero del 2012 a enero del 2020 mediante la publicación que realiza el INEGI en su página web. Para todos los casos de estudio se utiliza el Índice Nacional de Precios al Productor sin petróleo y con servicios, esta actualización se realiza mediante la relación de cambio del índice del 2020 al del 2012 como lo marca la siguiente fórmula:

Ecuación 4. Coeficiente de actualización con inflación.

$$INFLACIÓN = \frac{INPP\ 2020}{INPP\ 2012}$$

Con los datos reales tenemos el siguiente coeficiente:

$$Coeficiente = \frac{75.0092281082303}{99.8713989880644} = 1.331454829$$

Básicamente este coeficiente nos indica que algo vale 33% más en el 2020 comparado con el valor del 2012; una vez obtenido este coeficiente de la relación entre el INPP inicial (2012) y el INPP final (2020) se multiplica por el valor del costo de inversión original en pesos para trasladar este costo a valores del 2020, con lo que se obtiene lo siguiente:

Ecuación 5. Actualización de costo de inversión.

$$Costo\ de\ Inversión\ 2020 = Costo\ de\ Inversión\ 2012 * Coeficiente$$

$$Costo\ de\ Inversión\ 2020\ [MXN] = 70,900,457.34 * 1.331454829 = 94,400,756$$

Una vez obtenido el costo de inversión actualizado al 2020, con la misma metodología se traslada la tarifa de venta de energía del 2012 al 2020 obteniendo 1,211 MXN/MWh, la generación anual no cambia por lo que podemos realizar el estudio económico nuevamente con esta información para traer el VPN al 2020, con lo cual se obtienen los resultados siguientes:

Tabla 7. Resultados Evaluación Económica caso 1, autoabasto en mercados. Elaboración propia.

Económica		
Trema		12.00%
VPN en	2020	-\$64,097,968
AE		-\$8,581,358
B/C		0.32
TIR		-1.77%
TIRM		5.81%
PR simple		22.82

Como se observa en la Tabla 7, los resultados obtenidos muestran que la evaluación económica no es favorable, ya que el VPN es menor que cero y la TIR menor a la Trema, así como la Relación Beneficio Costo menor a 1. Una vez obteniendo los resultados del caso 1, se analiza el segundo

caso con un aerogenerador de 2.3 MW, donde se obtiene un costo de inversión ajustado por inflación con la metodología descrita anteriormente como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\text{Costo de Inversión 2020} = \text{Costo de Inversión 2012} * \text{Coeficiente}$$

$$\text{Costo de Inversión 2020 [MXN]} = 83,163,180.74 * 1.331454829 = 110,728,018.54$$

Dado que tanto para el caso 1, como para el caso 2 el precio de venta de energía es el mismo de 1,211 \$/MWh tenemos los siguientes resultados mostrados en la Tabla 8.

Tabla 8. Resultados Evaluación Económica caso 2, autoabasto en mercados. Elaboración propia.

Económica		
Trema		12.00%
VPN en	2020	-\$83,396,092
AE		-\$11,164,967
B/C		0.25
TIR		-4.06%
TIRM		4.43%
PR simple		29.71

Como se muestra en las Tablas 7 y 8, ambos casos, el 1 y 2, con los diferentes tipos de aerogeneradores no son económicamente viables ya que en ambas tablas se observan que los resultados del VPN neto es menor a cero y la Relación Beneficio Costo menor a uno, sin embargo, más adelante, en el numeral 3.4 se mostrará el precio de los CEL que hagan económicamente viable.

Tesis ejemplo 2

Para el segundo ejemplo retomamos la propuesta del sistema fotovoltaico para el autoabastecimiento de electricidad de un Wal-Mart ubicado en Cancún con una capacidad de 1.45 MW, para este sistema, al igual que en el ejemplo anterior, se actualizan los parámetros por la inflación quedando de la siguiente forma:

Costo de Inversión: 36,590,212 pesos

Tarifa de venta de energía: 1,453 \$/MWh

Recordando que esta tarifa se obtuvo mediante el ingreso estimado anual y la generación estimada anual, dependiendo del momento en que se inyecte la energía eléctrica es el valor del precio que tendría, ya que como veremos en el siguiente numeral, la tienda está en un sistema tarifario de Media Tensión Horario con una generación anual estimada de 3,430 MWh anuales.

El estudio económico de este sistema muestra los resultados obtenidos en la Tabla 9 que se muestra a continuación, donde obtenemos un VPN menor a cero, con una Relación Beneficio

Costo menor a uno, sin embargo, se observa que este proyecto no está lejos de ser viable ya que la Relación Beneficio Costo es cercana a la unidad (0.94) por lo que definiendo un precio mínimo de CEL podríamos hacer viable el proyecto sin incrementar demasiado el precio del CEL.

Tabla 9. Resultados del Análisis económico, sistema fotovoltaico Wal-Mart Cancún. Elaboración propia.

Económica		
Trema		12.00%
VPN en	2020	-\$2,203,606
AE		-\$295,016
B/C		0.94
TIR		11.05%
TIRM		11.65%
PR simple		8.06

Resumen de las Tesis estudiadas.

Con la finalidad de mostrar algunos de los indicadores más importantes de todos los trabajos recopilados se muestra a continuación la Tabla 10 con el resumen de los trabajos con su generación estimada, costos de inversión actualizados al 2020 y las tarifas por venta de energía propuestas en cada una de las tesis y como resultados se muestra al menos el VPN al 2020:

Tabla 10. Evaluación inicial de los proyectos recopilados. Elaboración propia.

NOMBRE DEL PROYECTO	BREVE DESCRIPCIÓN	CAPACIDAD [MW]	COSTOS DE INVERSIÓN 2020 [PESOS]	PRECIO ELECTRICIDAD [\$/MWh]	VPN 2020 SIN CEL
Propuesta y análisis de un sistema FV en autoabasto	En un sistema FV para el autoabastec	0.103	3,158,575.23	1,869.99	26,311.63
Sistema de autoabasto en Wal-Mart Nichupté	En esta tesis se propone un sistema para el autoabastecimiento de un supermercado en Cancún	1.45	36,590,121.14	1,453.60	-2,203,606.12
Plantas solares con almacenamiento de energía/config 1	Dos modelos de sistemas termosolares con almacenamiento de energía en nogales y casas	200.83	25,916,790,000.00	4,144.70	-4,127,073,100.23
Plantas solares con almacenamiento de energía/config 4	Dos modelos de sistemas termosolares con almacenamiento de energía en nogales y casas	30.62	5,401,480,000.00	4,144.70	-3,331,291,460.25
Generador eólico para autoabasto en mercados públicos de cdmx	propuesta de abastecimiento eléctrico en 3 mercados públicos de cdmx, configuración de 3x850kW	2.55	94,400,756.31	1,211.62	-64,097,968.10
Generador eólico para autoabasto en mercados públicos de cdmx	propuesta de abastecimiento eléctrico en 3 mercados públicos de cdmx, configuración de 2.3 MW	2.3	110,728,018.54	1,211.62	-83,396,091.92
Evaluación de un sistema de generación con base en una micro turbina hidráulica	Propuesta de una central minihidro para abatecer una parte del suministro de Santo Tomás Ajusco	0.1102	1,466,287.72	1,086.93	801,186.46
Aprovechamiento de los residuos de una granja porcícola para generación eléctrica en autoabasto	Producción de energía eléctrica con biogás mediante los desechos de la granja porcícola para el 70% de autoabasto de la granja	0.0113	917,293.69	1,417.27	-48,782.06
Proyecto de Central de Energía Limpia en Jalalpasso, Puebla	Propuesta de central FV en Jalalpasso Puebla con precios de SLP, con un mejor precio sería viable	10	459,849,161.00	604.50	-372,066,583.94
Aprovechamiento de la energía solar FV dentro de un proyecto de vivienda sustentable	Propuesta de un sistema FV en un proyecto de vivienda en Morelos con un sistema de almacenamiento con baterías	0.002247	155,554.59	3,129.00	-42,157.01
Propuesta de un sistema FV en un estacionamiento de un centro comercial con interconexión a la red	Propuesta de un sistema FV en un estacionamiento de un centro comercial para la reducción de la facturación eléctrica del CC	0.44576	15,552,849.38	1,882.90	-3,641,192.65
Estudio técnico-económico para la implementación de un sistema FV en tiendas de conveniencia	Propuesta de un sistema FV para una tienda de conveniencia, con un sistema FV de 4 kW	0.004	235,810.40	2560	-87,004.78
Repotenciación de la capacidad de la planta de cerro prieto de CFE con incorporación de energía solar	Sistema de repotenciación solar de 4.6 MW para la central geotermica de cerro prieto mediante un sistema de precalentamiento con energía solar	4.6	321,589,684.02	2510.335734	-192,573,435.27
Generación de energía eléctrica por medio de un aerogenerador para la colonia Altamira Tamaulipas	Proponer un sistema de un aerogenerador para producir electricidad en Altamira Tamaulipas donde se determina su viabilidad	2.5	12,249,473.89	884	21,993,465.60
Análisis y viabilidad para el establecimiento de plantas geotérmicas en Chiapas	Analiza la viabilidad de nuevas plantas geotérmicas en Unión Juárez en Chiapas	4.95	1,989,852.48	1040	502,568.49
Estudio de factibilidad para implementar una fuente de generación eólica para viviendas rurales de la península de Yucatán	Estudio de la factibilidad de un sistema eólico para una comunidad de Yucatán con una potencia de 1.5 MW	1.2	22,406,712.90	956	-4,308,189.92

Como se observa en la Tabla 10, hay proyectos que con el diseño y precios que se presentaron ya son económicamente viables, sin embargo, la gran mayoría no lo son es por eso que en los mercados eléctricos se implementan incentivos que busquen mejorar la viabilidad económica de las plantas limpias para que con ayuda de estos mecanismos las plantas logren ser rentables y puedan ser desarrolladas, como se ha hablado a lo largo del presente trabajo, para el Mercado Eléctrico en México esta función la buscan cumplir los CEL.

3.2. Escenarios de precios de energía, CEL, y tarifas eléctricas

Cuando se realiza una evaluación económica de un proyecto de energía limpia se parte de un escenario en el cual se establece un valor monetario de venta a la energía producida por el mismo, este valor de venta de energía es fundamental al momento de realizar el estudio económico del proyecto ya que la viabilidad del proyecto depende en gran medida de este parámetro.

En los proyectos estudiados para la realización de este trabajo se encuentran diferentes escenarios para establecer el precio de venta de la energía donde la gran mayoría de ellos tienen como referencia en este rubro los precios de las tarifas eléctricas establecidas por la Comisión Federal de Electricidad ya que antes de la Reforma Energética, la CFE era la única entidad, y la extinta Luz y Fuerza, que se encargaban de comercializar la energía eléctrica. Posterior a la Reforma Energética surgieron otros referentes en el precio de la energía eléctrica como los precios ganadores de las Subastas de Largo Plazo organizadas por CENACE antes de 2018. Estos dos escenarios y el Mercado de CEL se abordan con más detalle a continuación.

Tarifas Eléctricas

Para este apartado de tarifas eléctricas se muestran las tarifas más recientes en ese momento, publicadas por la CRE para septiembre 2020, ya que la CRE es la encargada de regular los precios de estas tarifas. Para cada una de las diferentes regiones de CFE se tiene una tarifa diferente, por lo que la Tabla 11 muestra la región y sus tarifas, ya sea para la Tarifa GDMTH (antes H-M), GDMTO (antes O-M), DIST y la Tarifa Doméstica Alto Consumo (DAC):

Tabla 11. Tarifas DAC septiembre 2020. Fuente:

<https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/TarifasCRECasa/Tarifas/TarifaDAC.aspx septiembres 2020>.

DAC	VERANO [\$/KWh]	FUERA VERANO [\$/KWh]
BC	4.542	3.9
BCS	4.048	3.9
	FIJO	
CENTRAL	4.672	
NOROESTE	4.377	
NORTE Y NORESTE	4.265	
SUR Y PENINSULAR	4.332	

División CFE	GDMTO [\$/kWh]	GDMTH [\$/kWh]			DIST [\$/kWh]		
	FIJO	BASE	INT	PUNTA	BASE	INT	PUNTA
B. C.	0.42	0.3382	0.6124	0.8818	0.3696	0.6691	0.9645
B.C.S.	1.725	1.5401	1.998	2.8767	1.6792	2.1784	3.14
Bajío	1.088	0.6972	1.3606	1.5721	0.7298	1.2931	1.5632
Centro Occ.	0.973	0.6954	1.3627	1.5546	0.6985	1.2427	1.491
Centro Oriente	1.072	0.6933	1.3634	1.5591	0.6855	1.2756	1.4588
Centro Sur	0.868	0.6248	1.224	1.4062	0.7211	1.2916	1.5354
Golfo Centro	0.94	0.6531	1.2133	1.431	0.6748	1.1794	1.3513
Golfo Norte	0.868	0.67	1.127	1.2365	0.6501	1.1093	1.2173
Jalisco	0.988	0.6641	1.3089	1.4915	0.7149	1.2763	1.5367
Noroeste	0.897	0.6282	1.1019	1.2385	0.6498	1.0566	1.2566
Norte	0.848	0.6703	1.1588	1.3829	0.6301	1.1067	1.3243
Oriente	0.915	0.5953	1.1663	1.3295	0.6487	1.2499	1.4246
Peninsular	1.248	0.8423	1.5257	1.7207	0.7523	1.3949	1.5371
Sureste	0.878	0.6615	1.2642	1.4371	0.6685	1.2734	1.4953
VDM Centro	1.134	0.7403	1.325	1.5737	0.7563	1.4105	1.6157
VDM Norte	1.105	0.7379	1.3147	1.5635	0.5132	1.0077	1.1546
VDM Sur	1.145	0.7468	1.3336	1.5862	0.7463	1.3274	1.5852

Tabla 12. Tarifas GDMTO, GDMTH, DIST, septiembre 2020. Fuente: CFE

Como se observa en las Tablas 11 y 12, los precios de energía varían dependiendo de la ubicación del centro de consumo, en el caso de los Domésticos de Alto Consumo es la tarifa más alta de las residenciales y las industriales GDMTO, GDMTH y DIST, por lo que los proyectos fotovoltaicos residenciales, en su gran mayoría, son rentables debido a las altas tarifas DAC. En cuanto a las tarifas Industriales GDMTO, GDMTH y DIST varían dependiendo la ubicación, como se observa en la Tabla 11, la división de CFE en Baja California es la que tiene las tarifas más bajas, caso contrario con Baja California Sur que tiene las tarifas de electricidad más altas del país, las demás regiones del país tienen precios de energía que van desde valores cercanos a 0.6 \$/kWh o 600 \$/MWh hasta 1,700 \$/MWh dependiendo del esquema contratado y del intervalo horario en el que se consuma energía.

Este rango de precios sirve como referencia para los utilizados en los estudios de análisis económicos de algunos proyectos como los recopilados, sin embargo, a partir de la realización de las Subastas de Largo Plazo también se tiene como referencia los precios de Energía y CEL de las ofertas ganadoras de las subastas como los que veremos a continuación.

Precios Ganadores Subastas de Largo Plazo

En México, a partir de la Reforma Energética, se organizaron tres subastas de largo plazo organizadas en 2015, 2016 y una tercera en 2017, las subastas del 2018 y 2019 fueron suspendidas por el gobierno, sin embargo, con base en los resultados obtenidos en estas tres subastas se obtuvieron los siguientes precios promedios del paquete de energía + CEL como se muestra en la Figura 22 [31]:

		Subastas de Largo Plazo		
		SLP-1/2015	SLP-1/2016	SLP-1/2017
Ofertas de Venta seleccionadas		18	56	16
Empresas seleccionadas		11	23	10
% de productos adjudicados	Oferta de Compra Potencia (MW)	Desierta	80%	42%
	Oferta de Compra EEA (MW h)	84.9%	33.2%	90.2%
	Oferta de Compra CEL (CELS)	84.6%	87.2%	97.8%
Precio Promedio de Energía limpia por paquete (MW h) en CEL		47.78 USD	33.47 USD	20.57 USD
Tipo de Tecnología		Solares/eólicas	Geotérmico/hidráulico/ciclo combinado	Turbogas/Solares/eólicas
Venta a:		CFE	CFE	CFE y ERC

Figura 22. Resultados Subastas de Largo Plazo [31]

Con base en este resumen presentado por CENACE en el Fallo de la última Subasta de Largo Plazo llevada a cabo y tomando como Tipo de Cambio peso/dólar el Tipo de Cambio del 31 de enero del 2020 (18.9082) tenemos los siguientes valores en Pesos mostrados en la *Tabla 13*:

Tabla 13. Precios Promedio Subastas de Largo Plazo. Elaboración propia con datos de CENACE

	1RA SLP MXN/MWh	2DA SLP MXN/MWh	3RA SLP MXN/MWh
ENERGÍA	602.29	421.90	259.29
CEL	301.14	210.95	129.65
ENERGÍA + CEL	903.43	632.86	388.94

Estas dos formas de vender energía en el Mercado Eléctrico Mayorista en México son las que han servido para tener un panorama de los precios de venta y compra de energía eléctrica para la evaluación de proyectos ya que al ser precios reales que dependen del esquema de venta son precios que alguna empresa podría tomar como referencia para ofrecer su energía en los diferentes esquemas que ofrece el MEM.

3.3. Modelos y supuestos de evaluación económicas de los proyectos

Dentro de este numeral se muestran las evaluaciones realizadas a los diferentes proyectos recopilados, así como la descripción de la metodología utilizada para obtener sus precios de los CEL basada en algunos supuestos al realizar la evaluación económica de los proyectos.

Esta metodología parte de obtener el VPN actualizado al 2020 de las tesis recopiladas para su estudio, este resumen del VPN traído al 2020 se puede observar en la Tabla 12 anterior, partiendo de esto los primeros supuestos son que para la re evaluación económica del proyecto se toma el mismo precio de energía que se trajo al 2020, también se basó el estudio en el supuesto de que un proyecto es rentable si el VPN es mayor o igual a cero tratando de tener el precio lo más cercano a un número entero.

Para lograr un VPN mayor o igual a cero y una relación B/C mayo a uno, el único parámetro que se modifica en este modelo es el precio de los CEL ya que en la actualización de los proyectos al 2020 se considera un ingreso únicamente por venta de energía eléctrica por lo que los CEL no entran en esa actualización si no hasta esta re evaluación, donde al traer el estudio económico a valores del 2020 se considera el supuesto del precio de venta de un CEL en cero pesos ya que al variar este precio el VPN y la B/C cambiarán debido a que los ingresos por venta de energía ahora estarían en dependencia del ingreso por venta de energía eléctrica más el ingreso por la venta de Certificados de Energía Limpia.

Siguiendo con la línea de los ejemplos que se han presentado en este capítulo, para la primera tesis donde se analiza la viabilidad económica de un sistema de auto abasto en Cancún [29] se presentó en el numeral anterior el Valor Presente Neto en pesos del 2020 un valor de -\$2,203,606 con un precio de venta de energía eléctrica de 1,453 \$/MWh, donde este precio de venta de energía se tomó como referencia en la evaluación original de los precios en la Tarifa H-M (ahora GDMTH) en el supuesto de que la energía generada por el sistema fotovoltaico tendría un valor similar al precio de energía que se contaba para el esquema tarifario vigente de ese momento.

Tomando como base el análisis en pesos del 2020, se debe ajustar el precio de los CEL para obtener un VPN mayor o igual a cero, este valor se encuentra en el modelo económico mediante iteraciones que van modificando el VPN, sin embargo, por practicidad se toma un valor para los CEL a dos decimales buscando que el VPN sea lo más cercano a cero pero mayor a cero, para que esto haga viable el proyecto, en el ejemplo de la tesis para el sistema de auto abasto en un supermercado de Cancún el valor obtenido es de **79.75 \$/CEL** el precio que arrojaría un VPN mayor a cero y una B/C igual a 1, como se muestra en la siguiente Tabla 14:

Tabla 14. Evaluación económica del proyecto [29] con un precio mínimo de CEL.

Económica		
Trema		12.00%
VPN en	2020	\$75,201
AE		\$10,068
B/C		1.00

TIR	12.03%
TIRM	12.01%
PR simple	7.58

Con este ajuste en el precio de venta de los CEL se logra que el proyecto llegue a su objetivo de ser económicamente viable con una VPN mayor a cero y una relación Beneficio/Costo mayor o igual a uno.

Continuando con los ejemplos utilizados anteriormente, en el caso del sistema de aerogeneradores en el cual contiene dos casos, uno con tres aerogeneradores de 850 kW de potencia y uno más con un aerogenerador de 2.3 MW. Para los tres aerogeneradores de 850 kW se presentaron en el numeral 3.1 donde el VPN es menor a cero -\$64,097,968 con un valor de venta de energía eléctrica 1,211 y una Relación Beneficio/Costo de 0.32, por lo que el supuesto de la Tarifa de venta de energía eléctrica también se encuentra dentro del rango de Tarifas comerciales de la Tabla 11, aunado a eso, en la primera evaluación no se considera un precio de venta de los CEL. Posteriormente se reevalúa el análisis económico tomando en cuenta un ingreso por la venta de energía de CEL, donde el precio de venta de los CEL con el que el proyecto alcanza la viabilidad económica, como se ve en la Tabla 15, sería de **1,375 \$/CEL**.

Tabla 15. Evaluación económica con un precio mínimo de CEL, proyecto de auto abasto en mercados. [28]

Económica		
Trema		12.00%
VPN en	2020	\$16,717
AE		\$2,238
B/C		1.00
TIR		12.00%
TIRM		12.00%
PR simple		7.69

De la misma forma se tienen los resultados de trabajar con el otro caso del auto abasto en mercado donde la capacidad instalada es de 2.3 MW, en el que, sin considerar los CEL, se tiene un VPN en 2020 de -\$83,396,092 con un precio de venta de 1,211 \$/MWh, sin embargo, al suponer un precio de venta de **1,985 \$/ CEL** se tienen los resultados mostrados en la Tabla 16, donde se observa que el VPN es mayor a cero y la relación B/C igual a 1.

Tabla 16. Análisis económico precio mínimo de CEL del proyecto de auto abasto en mercados con aerogenerador de 2.3 MW.

Económica		
Trema		12.00%
VPN en	2020	\$108,885
AE		\$14,577
B/C		1.00
TIR		12.02%
TIRM		12.01%

Esta metodología, descrita durante estos dos ejemplos, se replicó en todas las tesis recopiladas en este trabajo arrojando los resultados que podremos observar en la Tabla 17 y en las tablas del Anexo 1, donde se observa que incluso hay proyectos que no necesitan un ingreso por CEL para ser económicamente viables contrastando con aquellos que requieren valores casi de 4,000 pesos por CEL.

Tabla 17. Resultados de la evaluación económica de los proyectos recopilados con ingresos por venta de CEL.

<u>NOMBRE DEL PROYECTO</u>	<u>BREVE DESCRIPCIÓN</u>	<u>CAPACIDAD [MW]</u>	<u>PRECIO DE CEL</u>	<u>PR</u>	<u>TIR</u>	<u>B/C</u>
Propuesta y análisis de un sistema FV en auto abasto	En un sistema FV para el autoabastecimiento de las áreas comunes de un edificio de departamentos en CDMX	0.103	0.00	7.54	12.15	1.01
Sistema de auto abasto en Wal-Mart Nichupté	En esta tesis se propone un sistema para el autoabastecimiento de un supermercado en Cancún	1.45	79.75	7.58	12.03	1
Plantas solares con almacenamiento o de energía/config 1	Dos modelos de sistemas termo solares con almacenamiento de energía en nogales y casas grandes	200.83	599.50	7.54	12.01	1
Plantas solares con almacenamiento o de energía/config 4	Dos modelos de sistemas termo solares con almacenamiento de energía en nogales y casas grandes	30.62	3,836.25	7.61	12.01	1
Generador eólico para auto abasto en mercados públicos de CDMX	propuesta de abastecimiento eléctrico en 3 mercados públicos de CDMX, configuración de 3x850kW	2.55	1,375.00	7.69	12	1
Generador eólico para auto abasto en mercados públicos de CDMX	propuesta de abastecimiento eléctrico en 3 mercados públicos de CDMX, configuración de 2.3 MW	2.3	1,985.50	7.73	12.02	1
Evaluación de un sistema de generación con base en una microturbina hidráulica	Propuesta de una central mini hidro para abastecer una parte del suministro de Santo Tomás Ajusco	0.1102	0.00	4.54	20.75	1.55

Aprovechamiento de los residuos de una granja porcícola para generación eléctrica en auto abasto	Producción de energía eléctrica con biogás mediante los desechos de la granja porcícola para el 70% de auto abasto de la granja	0.0113	74.25	7.61	12.04	1
Proyecto de Central de Energía Limpia en Jajalpasco, Puebla	Propuesta de central FV en Jajalpasco Puebla con precios de SLP, con un mejor precio sería viable	10	1,039.50	7.81	12.02	1
Aprovechamiento de la energía solar FV dentro de un proyecto de vivienda sustentable	Propuesta de un sistema FV en un proyecto de vivienda en Morelos con un sistema de almacenamiento con baterías	0.002247	1,031.25	7.68	12.02	1
Propuesta de un sistema FV en un estacionamiento de un centro comercial con interconexión a la red	Propuesta de un sistema FV en un estacionamiento de un centro comercial para la reducción de la facturación eléctrica del CC	0.44576	486.75	7.66	12.02	1
Estudio técnico-económico para la implementación de un sistema FV en tiendas de conveniencia	Propuesta de un sistema FV para una tienda de conveniencia, con un sistema FV de 4 kW	0.004	1,311.75	7.71	12.01	1
Repotenciación de la capacidad de la planta de cerro prieto de CFE con incorporación de energía solar	Sistema de repotenciación solar de 4.6 MW para la central geotérmica de cerro prieto mediante un sistema de precalentamiento con energía solar	4.6	2,227.50	7.77	12	1
Generación de energía eléctrica por medio de un aerogenerador para la colonia Altamira Tamaulipas	Proponer un sistema de un aerogenerador para producir electricidad en Altamira Tamaulipas donde se determina su viabilidad	2.5	0.00	2.72	37.09	2.8
Análisis y viabilidad para el establecimiento de plantas geotérmicas en Chiapas	Analiza la viabilidad de nuevas plantas geotérmicas en Unión Juárez en Chiapas	4.95	0.00	6.01	15.86	1.25

Estudio de factibilidad para implementar una fuente de generación eólica para viviendas rurales de la península de Yucatán	Estudio de la factibilidad de un sistema eólico para una comunidad de Yucatán con una potencia de 1.5 MW	1.2	176.00	7.6	12.01	1
--	--	-----	--------	-----	-------	---

3.4. Valor mínimo del precio de CEL

Como se observa en la Tabla 16, cada uno de los proyectos estudiados tiene diferentes características como la Capacidad Instalada de la planta, montos de inversión y sus precios de venta de energía eléctrica con los que fueron evaluados en un inicio, lo que hace que cada proyecto deba ser evaluado y tratado de diferente manera ya que no existe una metodología infalible para la realización de proyectos de energía limpia.

De la misma forma que cada proyecto es único por sus características, también así en la evaluación económica que los acompaña y como observamos en la Tabla 10, algunos proyectos son viables ya con la sola venta de energía eléctrica, sin embargo, otros necesitan un ingreso adicional para poder lograr su viabilidad; como se ha mencionado a lo largo del presente trabajo, ese ingreso adicional lo obtienen las centrales a través de la venta de los Certificados de Energía Limpia que se estipulan en el MEM a partir de la Reforma de 2013.

De acuerdo con la metodología descrita en el punto 3.3, la Tabla 16 muestra que para poder obtener un VPN mayor o igual cero junto con una relación Beneficio Costo mayor o igual a uno, lo que haría que el proyecto fuese viable, cada uno de los proyectos mostrados tiene un precio de venta de CEL que podrían hacer que, al vender energía eléctrica más los CEL, se alcance la viabilidad económica del proyecto, a este precio de venta del CEL se le llama precio mínimo de los CEL.

En la *Figura 23* se observan los diferentes precios de los proyectos estudiados ordenados de acuerdo con la capacidad instalada de cada planta, en él se muestra que el rango de precio de los CEL obtenidos van desde los cero \$/CEL hasta cerca de 4,000 \$/CEL donde la mayoría de los proyectos se encuentran con capacidades instaladas menores a 50 MW, resaltando un proyecto con capacidad instalada de 200 MW y su precio de venta de CEL cercano a los 500 \$/CEL, también la gráfica observada en la *Figura 24* muestra el precio de venta del paquete completo de energía eléctrica más CEL donde se observa que en el precio de energía más CEL solamente un proyecto sobrepasa los 5,000 \$/MWh.

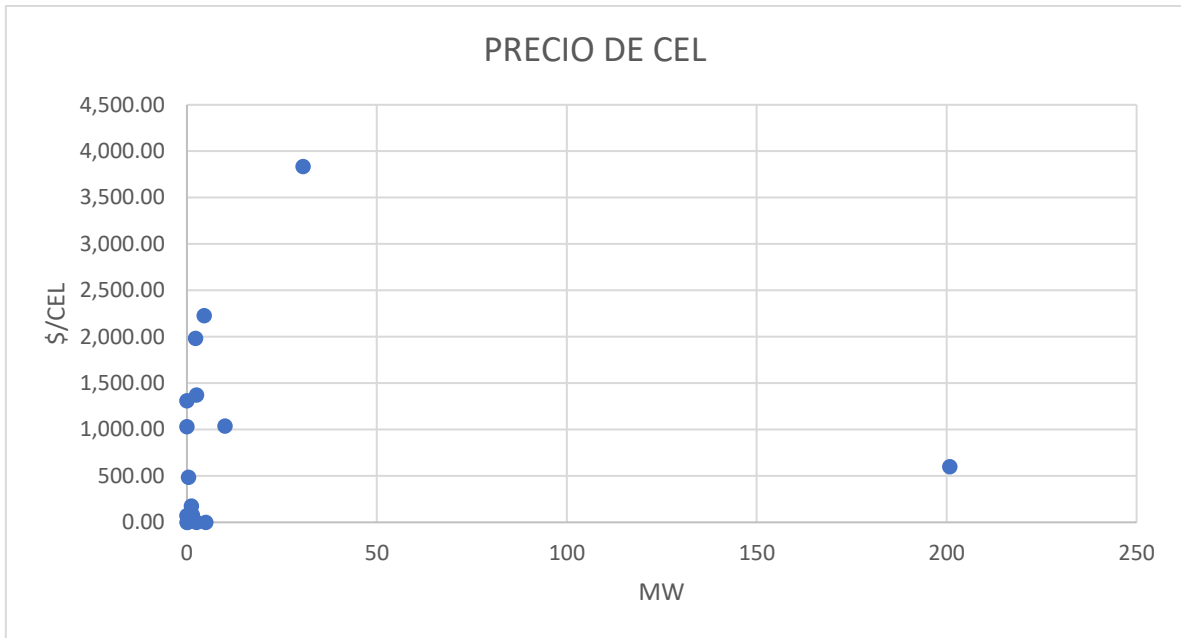


Figura 23. Precio mínimo de CEL de los proyectos estudiados. Elaboración propia.

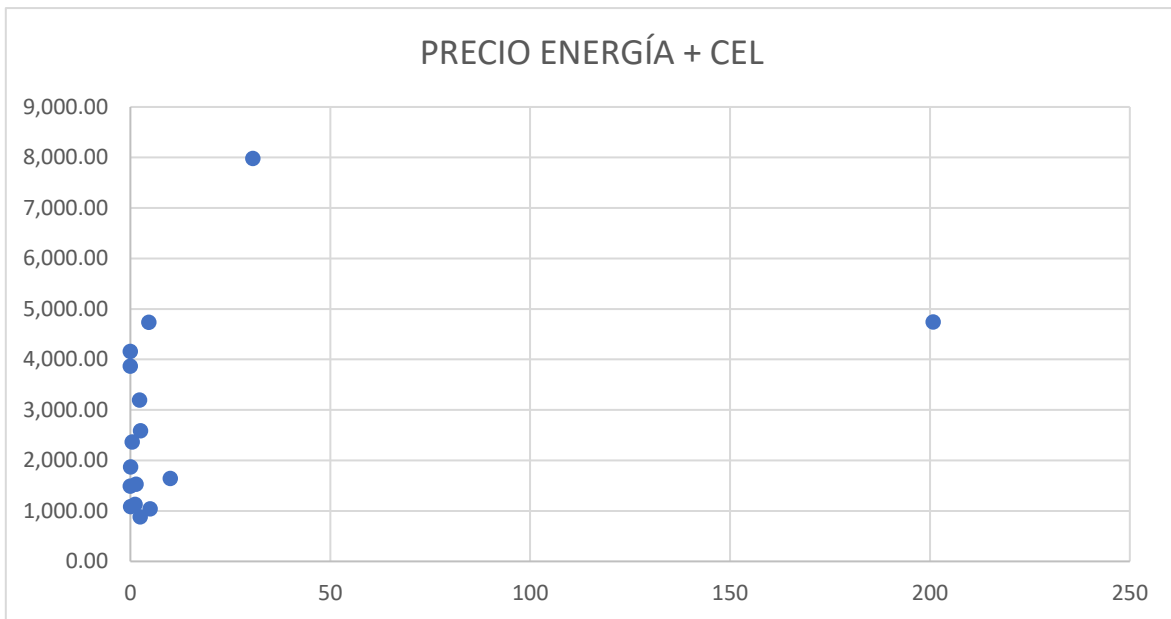


Figura 24. Precio mínimo de Energía más CEL. Elaboración propia

Las principales diferencias entre los precios de venta mínimos, tanto de CEL como del paquete de energía más CEL, dependen de los costos de inversión utilizados en el desarrollo de los proyectos, mismos que dependen del tipo de tecnología de la planta que se busque desarrollar, por esta razón, en las siguientes gráficas mostradas en las Figuras 25 a la 28 se desglosan los precios de CEL y energía más CEL de los proyectos estudiados basados en energía eólica y energía fotovoltaica, ya que estos dos tipos de tecnología son los que han tenido un mayor auge en los últimos años.

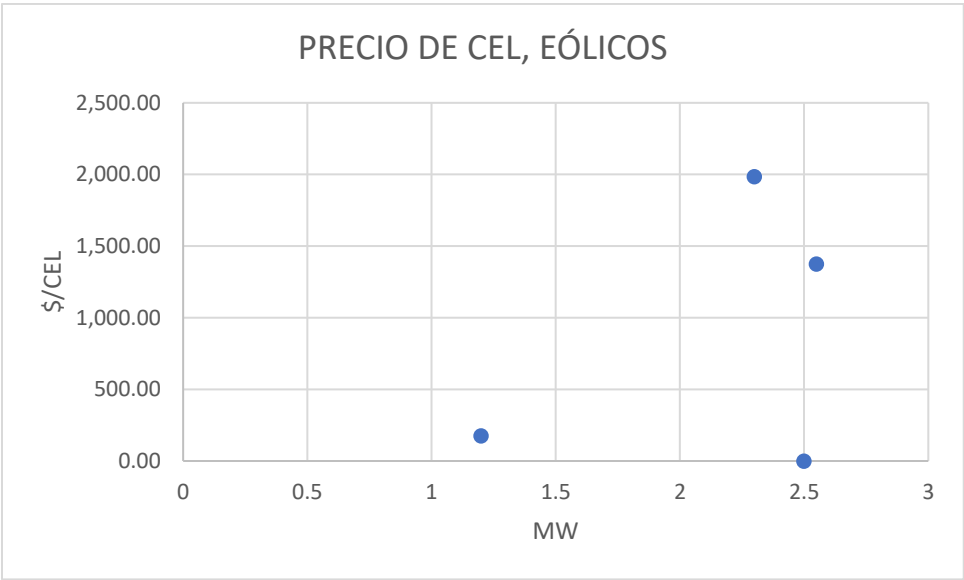


Figura 25. Precio CEL proyectos eólicos. Elaboración propia.

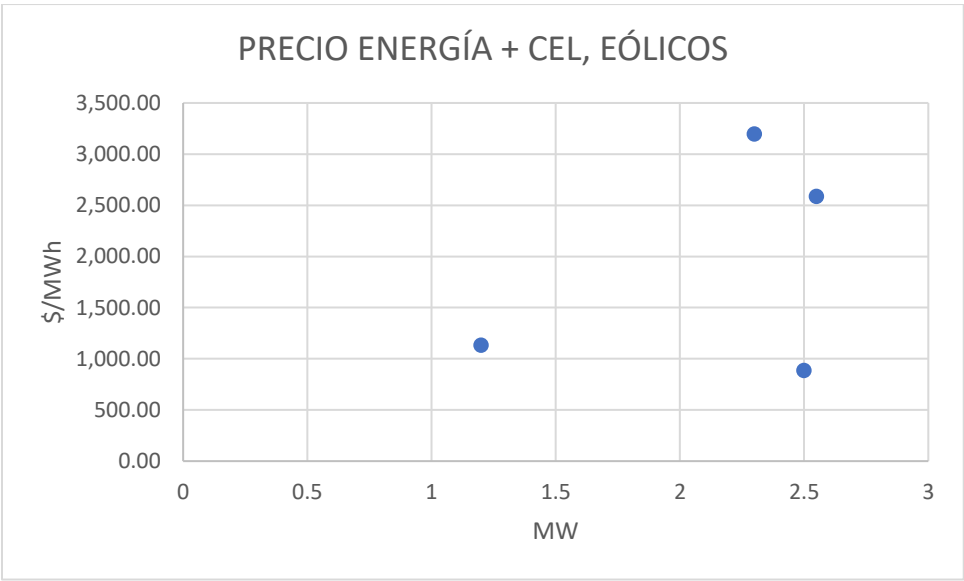


Figura 26. Precio CEL + Energía, proyectos eólicos. Elaboración propia.

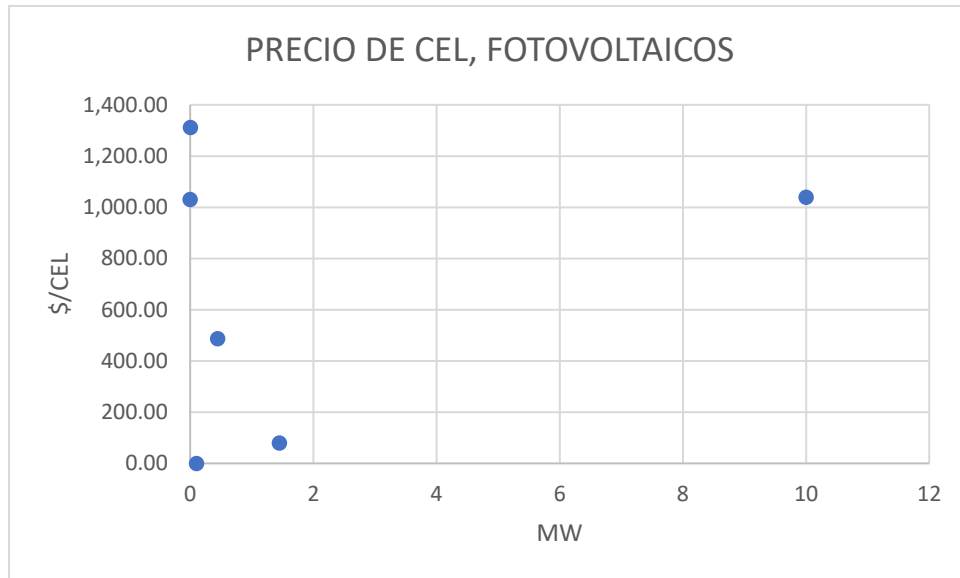


Figura 27. Precio CEL proyectos fotovoltaicos. Elaboración propia.

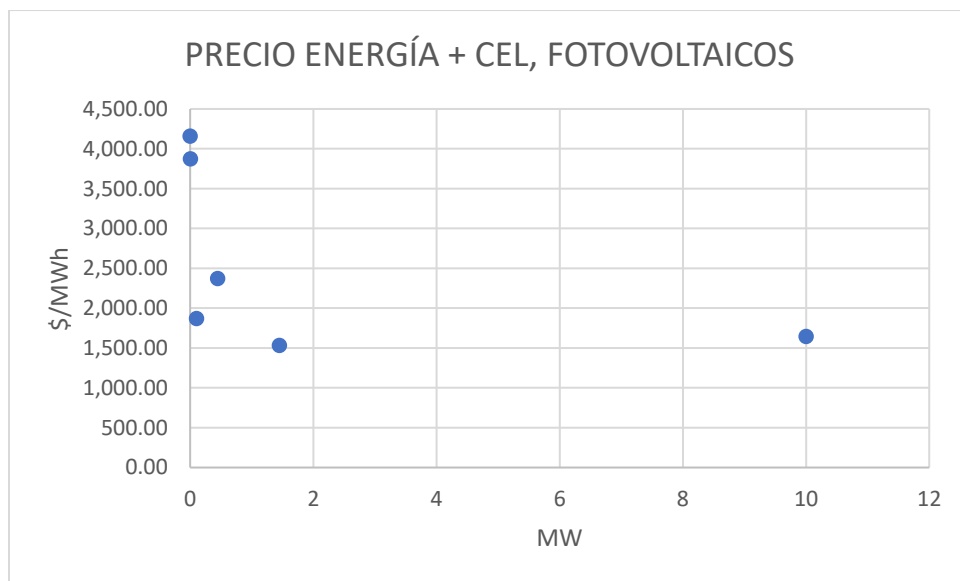


Figura 28. Precio CEL + Energía, proyectos fotovoltaicos. Elaboración propia

En este grupo de gráficas de la *Figura 25* a la *28*, se observa que separando los proyectos estudiados por el tipo de tecnología que utilizan para la generación de energía eléctrica los precios de CEL y energía eléctrica más CEL se acotan a diferentes valores, en el caso de sistemas eólicos el rango de precios de los CEL se acotan desde cero hasta cerca de 2,000 \$/CEL y en el caso de los proyectos solares fotovoltaicos se encuentran los precios mínimo de los CEL entre cero y casi los 1,400 \$/CEL.

Con una muestra mayor para cada tipo de tecnología probablemente se pueda encontrar un rango de precios más acotado donde la mayoría de los proyectos que utilicen ciertos tipos de tecnología convergen hacia un rango de precios más exacto de energía más CEL, ya que la suma de estos precios son los que hacen viable los proyectos.

3.5. El mercado y opciones para la viabilidad de los proyectos

En el punto anterior, se observa que los proyectos estudiados tienen diferentes precios de venta de energía y CEL que permiten al proyecto alcanzar la viabilidad económica, sin embargo, este precio muchas veces no es posible alcanzarlo por las condiciones del mercado en el que se tiene pensado desarrollar el proyecto.

En el mercado en México se pueden ofertar los dos productos, tanto energía como CEL, esto permite buscar opciones donde se pueden realizar combinaciones en estrategias de precios de venta de energía y CEL, buscando alcanzar la tarifa de venta por MWh necesaria para la viabilidad del proyecto. Estos dos productos no necesariamente se deben comercializar juntos en el MEM por lo que pueden buscarse esquemas donde se obtengan los ingresos necesarios por venta de energía y, por otro lado, otro esquema de venta de CEL que juntos logren obtener el precio objetivo de venta entre ambos productos.

Uno de los esquemas más populares para la venta de energía eléctrica y CEL alrededor del mundo son las Subastas mediante las cuales, se facilita la obtención de financiamiento o recursos para realizar las inversiones necesarias buscando el desarrollo de las Centrales Eléctricas, en este mecanismo las centrales generadoras pueden ofertar un paquete de precio por Energía Eléctrica más CEL, permitiendo así alcanzar la viabilidad económica en un solo contrato, de la misma forma, al ser Subastas con contratos de un plazo de 15 o 20 años se garantiza el ingreso de la Central en ese periodo, lo que permite asegurar el Retorno de la Inversión. En México se organizaron tres Subastas de Largo Plazo en 2015, 2016 y 2017, sin embargo, a partir de 2018 se encuentran suspendidas por el gobierno federal, por lo que ya no son una opción para incentivar la inversión en proyectos de energía limpia.

Esquemas de venta de Energía Eléctrica

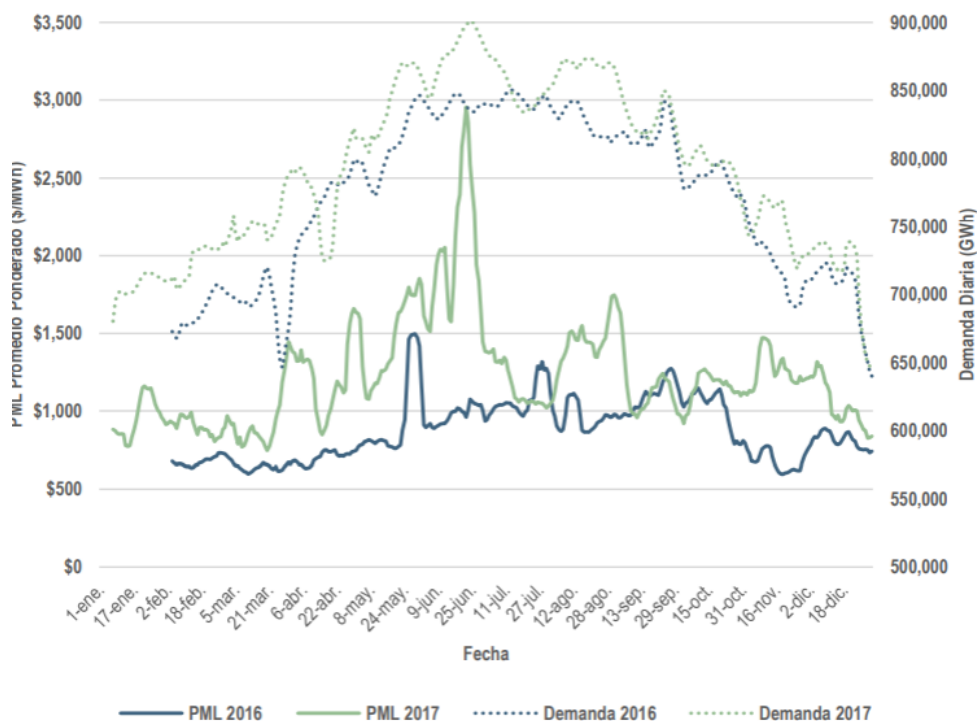
En el MEM en México se cuentan con diferentes esquemas mediante los cuales es posible comercializar la energía eléctrica, los principales son los Contratos de Cobertura Eléctrica o PPA por sus siglas en inglés (*Power Purchase Agreement*), la venta de energía directamente al Mercado de Corto Plazo, la venta de Energía en Abasto Aislado, así como esquemas de venta de energía para la Generación Distribuida, los cuales se describen brevemente a continuación.

Los esquemas de venta de energía a través de Contratos de Cobertura Eléctrica son contratos mediante los cuales los generadores pueden vender, mediante un Contrato Bilateral con otro Participante de Mercado, diferentes productos como son la Energía Eléctrica y los Certificados de Energía Limpia. Dentro de estos contratos se establecen precios de venta del producto o productos comprometidos a lo largo de la vida del contrato, esto con la finalidad de que se tenga una estabilidad en el precio de los productos, evitando así la volatilidad del precio de venta de productos en el Mercado Eléctrico Mayorista.

Para los generadores que tengan una capacidad instalada mayor a 0.5 MW existe la posibilidad de participar en el Mercado Eléctrico Mayorista, donde se puede comercializar la energía eléctrica a través del Mercado de Corto Plazo, el cual está compuesto por el Mercado del Día en Adelanto y

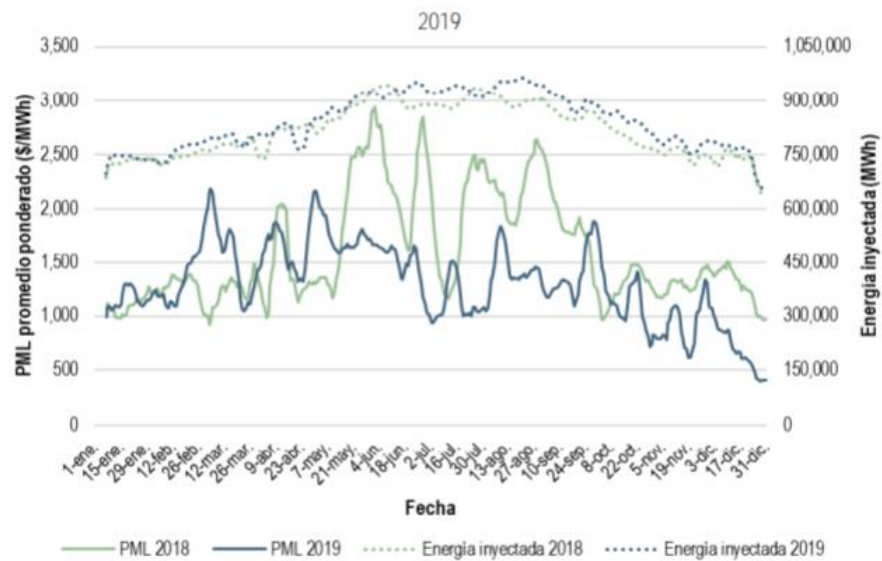
del Mercado en Tiempo Real. La energía se comercializa en el Mercado del Día en Adelanto mediante un pronóstico que se envía para el siguiente día y en el Mercado en Tiempo Real se toma como referencia la generación real para hacer las diferencias con el pronóstico, para cada uno de estos mercados se vende la energía con base en el Precio Marginal Local, el cual depende de la oferta y demanda que se tenga para cada hora y cada día del año.

Con base en el reporte del 2017 del Monito Independiente de Mercado [32] el precio promedio del PML en MDA para el 2016 fue de \$868 \$/MWh mientras que en 2017 fue 1,227 \$/MWh, lo que representa un incremento del 41% con respecto al 2016, mientras que en el Reporte Anual del 2019 [33] se muestra que el PML promedio en MDA para el 2018 fue \$1,598 \$/MWh mientras que en el 2019 fue 1,295 \$/MWh, como se observa en las siguientes gráficas tomadas de los reportes del MIM el precio en el MEM a través de los PML varía a lo largo del año aunado a que cada año también puede variar, esta volatilidad es la que los generadores buscan evitar a través de la firma de CCE, para garantizar un ingreso seguro y estable a lo largo del proyecto, ya que en el MEM se tiene una gran volatilidad.



Fuente: Elaboración del MIM con datos del CENACE, 2017.

Figura 29. Comportamiento del PML en 2016 y 2017. Fuente: MIM



Nota: Promedio móvil de siete días.

Fuente: Elaboración propia con base en datos del CENACE.

Figura 30. Comportamiento del PML 2018 y 2019. Fuente: MIM

En cuanto a los generadores menores a 0.5 MW se les conoce como Generación Distribuida y ésta, según las reglas del MEM, pueden vender energía al MEM a través de un Suministrador mediante tres esquemas de venta, *Net Metering*, *Net Billing* y venta total al MEM.

El esquema *Net Metering* consiste en que la energía que produce en generador exento le es descontada de su factura mensual con el suministrador, la gran mayoría de proyectos residenciales funcionan bajo este esquema con CFE Suministro Básico donde si, por ejemplo, un sistema genera 20 MWh a lo largo del mes y el cliente consume 30 MWh al mes, de su factura se descuentan 20 MWh y solo se le cobran 10 MWh, donde podría decirse que la energía generada tiene el mismo valor que la tarifa establecida por el Suministrador.

Para el esquema del *Net Billing* lo que cambia con respecto al *Net Metering* es que este balance es de cantidades monetarias, es decir, pesos. La energía que se genera es pagada al PML de la zona del país en la que se encuentre, y posteriormente, ese dinero obtenido de vender esa energía es descontado en pesos de la factura que el suministrador haga llegar al cliente de consumo, esta es la diferencia entre ambos esquemas.

Por último, en el esquema de venta total, toda la energía generada es vendida al PML de la zona en la que se encuentre, con la diferencia de que en este caso no se tiene una carga asociada al cliente, si no que solamente se vende energía y no se consume, por lo que sus ingresos son por venta de energía directamente al mercado.

Esquemas de venta de Certificados de Energía Limpia

Los Certificados de Energía Limpia se comercializan principalmente por contratos de cobertura que los suministradores firman con los generadores para asegurar el cumplimiento de sus requisitos de CEL establecidos en la regulación, así como a través de transacciones bilaterales.

En un ejercicio para obtener el pronóstico del precio del CEL para el inicio de operaciones del mercado de CEL [34] se estimaba un precio de 30 USD/CEL, sin embargo, en el mismo estudio se menciona el precio máximo establecido por el congreso de 18.25 USD/CEL, que va más de acuerdo con el precio real de los primeros años del Mercado de CEL, empero, con la entrada en vigor de la política energética de la administración del 2018-2024, donde a las plantas construidas antes del 2014 se les acreditarían CEL, se espera que el precio de los CEL disminuya y se ubique en valores cercanos a los 10 USD/CEL.

3.6. Conclusiones

A lo largo de este capítulo se observan los estudios recopilados a los cuales, a través del análisis económico de los proyectos, se les realiza una reevaluación económica donde se encuentra un precio de venta de los CEL para cada proyecto que permitan que el proyecto sea económicamente viable tomando como indicadores el VPN, la relación B/C, entre otros.

Al recopilar la información de los precios mínimos de los CEL, se encuentra que es muy variable para cada proyecto y en gran medida depende del monto de inversión y el tipo de tecnología, así mismo al acotar los proyectos por tipo de tecnología el rango de precio de CEL se va acotando.

Como conclusión, para encontrar un valor mínimo de venta del CEL se necesita más información de proyectos reales o estudios, para que la muestra estadística sea mayor y así se puedan obtener datos más confiables que converjan hacia un mismo precio de CEL, al menos por tipo de tecnología o incluso para las tecnologías que más impulso han tenido los últimos años como la Eólica y la Fotovoltaica.

De la misma forma, a través de la información obtenida se encuentra que existen proyectos que no necesitan un ingreso adicional por la venta de los CEL, ya que así son económicamente viables al ofrecer energía eléctrica, entre estos proyectos entran los recopilados que basan su generación eléctrica en tecnologías hidroeléctricas, geotérmicas y en algunos casos también eólicas y fotovoltaicas.

Como punto final, en el panorama del mercado se muestran las tendencias en los precios de energía eléctrica así como de CEL donde no todos los proyectos recopilados serían viables con las condiciones de precios existentes en el mercado de acuerdo con lo mostrado en el numeral 3.5, por lo que aunque la viabilidad económica muestre un precio de energía y CEL que permitan la viabilidad del proyecto, las condiciones del mercado pudieran no ser las adecuadas para permitir el Retorno de la Inversión y obtener el VPN esperado en el estudio.

Capítulo 4

4. Propuesta de cambios del Marco Regulatorio en materia de CEL

Para este capítulo se propone una operación y trato más que igualitario a los proyectos de energía limpia, un trato equitativo, donde se dé más a poyo a quienes más lo requieren y menos apoyo a quienes no lo requieren dentro de la ley y del Mercado de Certificados de Energía Limpia en México partiendo de cómo está conformado el marco regulatorio actual que, como vimos en el primer capítulo, se crea a partir de la Reforma Energética del 2014.

Posteriormente se muestran experiencias de mercados en otros países en los que este tipo de Mercados de Energía llevan operando un mayor tiempo, recordando que el mercado eléctrico en México es joven y está en constante crecimiento.

Dentro de las experiencias tomadas de otros países se toman las modificaciones más importantes en los Marcos Regulatorios de otros países en las cuales se muestran las dificultades o situaciones que propiciaron estas modificaciones y qué se buscó con ellas.

Para el final del capítulo se propone una modificación al Marco Regulatorio con base en los resultados obtenidos del estudio, y el estudio de las problemáticas observadas apoyadas del contexto internacional, y cómo es que otros países buscaron superar problemáticas similares mediante modificaciones en el Marco Regulatorio.

4.1. Marco Regulatorio actual

Retomando lo dicho en el capítulo 1, el Marco Regulatorio en México surge a partir de la Reforma Energética del 2014 donde cambia totalmente el paradigma Energético en México. A partir de esta Reforma se crea la Ley de la Industria Eléctrica junto con sus leyes secundarias, reglamentos y las Bases del Mercado Eléctrico, lo que da pie a la posibilidad de que cualquier empresa pueda competir en igualdad de oportunidades dentro del nuevo Mercado Eléctrico Mayorista.

Dentro del Mercado Eléctrico, como se ve en el capítulo 1, se ofrecen diferentes tipos de productos como son Energía Eléctrica, Servicios Conexos, Potencia, así como Certificados de Energía Limpia, estos últimos son los de interés de este trabajo. El marco regulatorio y más específicamente en la Base 12 de las Bases del Mercado Eléctrico establece la creación de un Mercado de Certificados de Energía Limpia, que al primer trimestre del 2020 no se encuentra operando como lo indica el manual, si no que funciona a través de Transacciones Bilaterales entre Participantes de Mercado supervisadas por la CRE.

El 31 de octubre del 2014 se publicó en el DOF los “Lineamientos que establecen los criterios para el otorgamiento de Certificados de Energías Limpias y los requisitos para su adquisición” donde establece que a partir del 2018 las Entidades Responsables de Carga tendrán una obligación de Adquirir Certificados de Energía Limpia correspondiente a un porcentaje de su consumo anual,

posteriormente se publicaron en el DOF los requisitos para los siguientes años que se muestran en la Tabla 14:

Tabla 18. Requisitos de CEL 2018-2022

Año	Requisito [%]
2018	5
2019	5.8
2020	7.4
2021	10.9
2022	13.9

Lo que buscan estos requisitos es incentivar el desarrollo de nuevas Centrales Eléctricas Limpias otorgándoles un CEL por cada MWh generado o en el caso de sistemas de cogeneración por el porcentaje de cada MWh generado a través de energía limpia para que se logre el cumplimiento de los porcentajes presentados en la tabla anterior y estos porcentajes de obligaciones son calculados por la Comisión Reguladora de Energía tomando en cuenta las metas de participación mínima de energías limpias en la generación de energía eléctrica establecidas en la Ley de Transición Energética (LTE) a fin de que las ERC satisfagan sus obligaciones con una proporción creciente de generación mediante energías limpias [22] la meta final es alcanzar el 35% de generación a través de fuentes de energía limpia en 2024 como lo establece la Ley General de Cambio Climático, de la misma forma se muestra en la Figura 31.

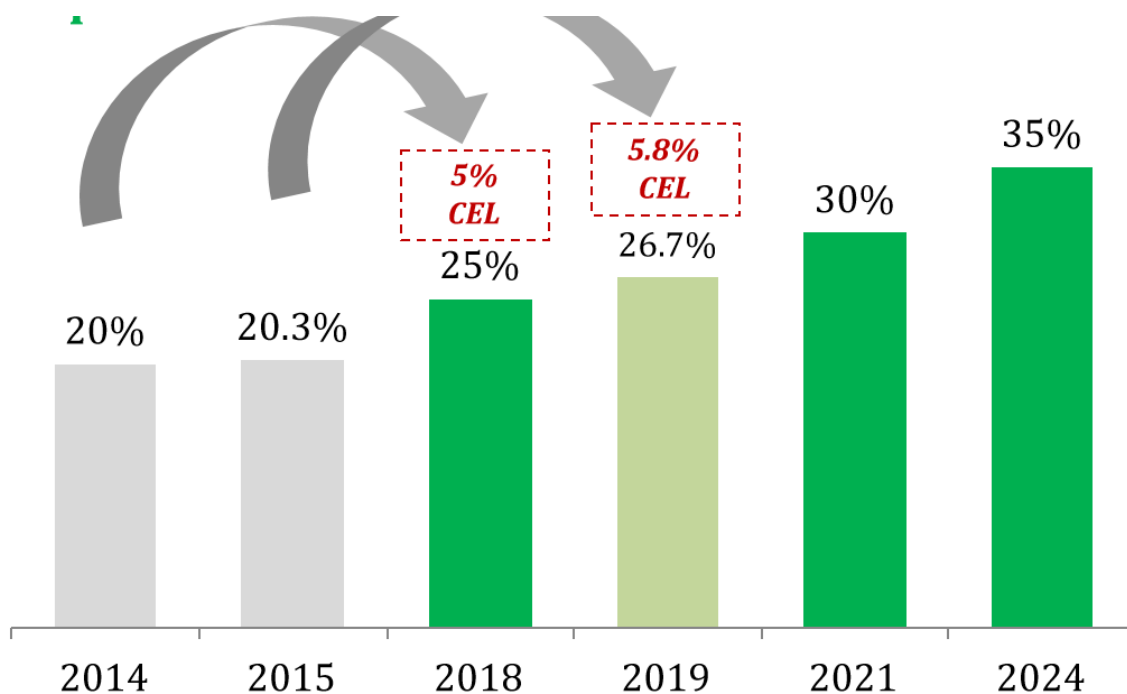


Figura 31. Metas de Energía Limpia. Fuente [22]

En caso de que las Entidades Responsables de Carga no logren adquirir los CEL establecidos en los lineamientos serán acreedores a una multa que se establece en Resolución RES/248/2016 por

cada MWh de incumplimiento en la adquisición de CEL, este incumplimiento se calcula como un porcentaje de acuerdo con la siguiente expresión:

Ecuación 6. Porcentaje de incumplimiento

$$\% \text{ Incumplimiento} = \frac{\text{Obligación de CEL} - \text{CEL liquidados en el periodo}}{\text{Obligación de CEL}}$$

Complementando el marco actual, como última modificación a la reglamentación se presentó en octubre del 2019 a través de la Secretaría de Energía una modificación a los lineamientos antes citados para que por veinte años las Centrales Eléctricas Legadas (que entraron en operación al amparo de la anterior Ley antes del 2014) puedan recibir CEL por la energía limpia que generan, de esta forma no se cumple el objetivo de creación de este mercado, que es incentivar la creación de nuevas centrales de energía limpia ya que con el otorgamiento de CEL a las Centrales Legadas el mercado de CEL tendrá una sobreoferta de productos lo que provoca una caída en el precio, sin embargo, este es el panorama del Marco Regulatorio a mediados del 2020 del Mercado de Certificados de Energía Limpia en México.

4.2. Experiencias en otros mercados

El impulso a las Energías Renovables comenzó desde la crisis petrolera de los años 70, sin embargo, a partir de finales de los años 90 fue cuando comenzó la instalación en grande escala de centrales renovables, principalmente en Europa y Estados Unidos. En algunos de estos países han implementado políticas públicas como leyes y compromisos obligatorios buscando empujar la generación de electricidad mediante energías renovables, ayudados de la Investigación y Desarrollo, así como de incentivos como son Metas de naciones de Energías Renovables, Cuotas gubernamentales, mecanismos “*Feed in Tariffs*”, préstamos de bajo interés, Créditos sobre Energías Renovables [35] dentro de este punto se explica el funcionamiento de cada uno de estos mecanismos, qué países los utilizan y sus principales características.

La implementación de Créditos sobre Energías Renovables incrementa el valor de la energía verde, también aumenta la probabilidad de que bien enfocados sean un vehículo para alcanzar las metas nacionales de Energía Renovable [35], dentro de este esquema de Créditos sobre Energías Renovables entran los mercados en los que se emiten Certificados por los MWh generados mediante energías limpias y en México los Certificados de Energía Limpia son el mecanismo adoptado a partir de la Reforma Energética, a través del cual se busca incentivar la generación de energía limpia, sin embargo, este es solo uno de los diferentes mecanismos utilizados alrededor del mundo, entre los más importantes a parte de los Certificados de Energía Limpia destacan las *Feed-in Tariffs*, los incentivos fiscales y los *Renewable Energy Certificates* (REC),

Feed-in Tariffs (FIT)

Las *Feed-In Tariffs* fueron un mecanismo para la promoción de Energías alternativas implementado en Estados Unidos en 1978 y sirvió como respuesta a la crisis petrolera de los años

70 [36] posteriormente ha sido utilizado por casi 50 países entre los que destacan Alemania, España, Japón y Estados Unidos [37], otro autor [35] considera el inicio del mecanismo de las *Feed-in* en 1990 en Alemania y mejorados en la Ley de Energía Renovable que entró en vigor el 1° de abril de 2000; su funcionamiento radica en pagar a los productores de energía limpia una “tarifa” extra por cada MWh entregado a la red, el aseguramiento de disponibilidad de entrega de energía que pone a las centrales ligadas a este esquema como prioritarias en el orden de despacho y finalmente está complementado con el aseguramiento de un contrato a largo plazo donde un centro de carga adquiere toda la energía que la fuente produzca [38]. Esta tarifa extra que es el *Feed-In* está diferenciada de acuerdo con la madurez de la tecnología emergente en el mercado con el objetivo de balancear las necesidades financieras de cada tipo de tecnología [35].

El éxito detrás de este mecanismo es que no se necesita una inversión por parte del gobierno, ya que el costo de esta Tarifa se le traslada al usuario final, si bien en el inicio de este sistema representa un ligero aumento a la factura eléctrica del cliente, al ser un sistema de largo plazo a lo largo del periodo es compensado dicho aumento, otro factor importante es que las FIT por definición deben ser específicas para cada tecnología ya que la madurez de cada tipo de tecnología la hace más competitiva respecto a las otras lo que implica que cada tecnología necesite un incentivo distinto hasta llegar al punto en que el incentivo ya no sea necesario debido a que la madurez del tipo de tecnología, mismo que va disminuyendo los costos de inversión de las diferentes tecnologías [38].

El diseño de estos mecanismos es responsabilidad de cada país de acuerdo con su reglamentación vigente, razón por la cual existen diferentes variaciones en el mecanismo FIT, para ilustrar dos sistemas FIT importantes a continuación se exponen brevemente el caso de Alemania y España que, si bien son similares en su funcionamiento, cuentan con algunas variantes.

Una de las principales características del sistema alemán de FIT es el establecimiento de diferentes Tarifas para cada central, dependiente del tamaño, ubicación y tecnología de cada una, donde al igual que en diseño de las FIT, se busca evitar un sobre apoyo a las centrales que se encuentran en mejores condiciones de competir con las energías convencionales. Adicional al funcionamiento de las FIT, las FIT en Alemania van disminuyendo cada año para cada tipo de tecnología como una forma de presionar a la industria para el desarrollo de menores costos para cada tecnología. Gracias a la implementación de este instrumento en su marco regulatorio, Alemania logró alcanzar su meta de 12.5% de generación eléctrica con energías limpias en 2010, tres años antes de lo que se tenía planeado [39].

Para el caso español, se tiene la principal diferencia en que el porcentaje de la FIT va en función del Costo Marginal de Energía promedio del año inmediato anterior, con lo que se busca tener una base de referencia actualizada, aunado a esto también se presenta una disminución del incentivo al paso del tiempo pero de una forma plana, como ejemplo se tiene un 150% del costo marginal para 10 años para un tipo de tecnología, terminado ese periodo se tiene ahora un 125% de Costo Marginal para el mismo tipo de tecnología por un periodo menor, de cinco años por ejemplo [37].

Una de las principales desventajas del sistema *Feed-In Tariff* es que el gobierno o la autoridad encargada de la regulación del Mercado en cada país tiene una intervención importante, al ser esta entidad la encargada de establecer las FIT, lo que choca con las políticas de libre mercado que existen en diferentes países.

Incentivos Fiscales y metas de portafolio

Los incentivos fiscales y las metas en los portafolios de energía limpia van muy ligados ya que antes de que Estados Unidos migrara al uso de las FIT eran el mecanismo más utilizado en EU. Partía de una meta de generación o capacidad instalada en cada estado de EU, como se puede observar en la *Figura 32*

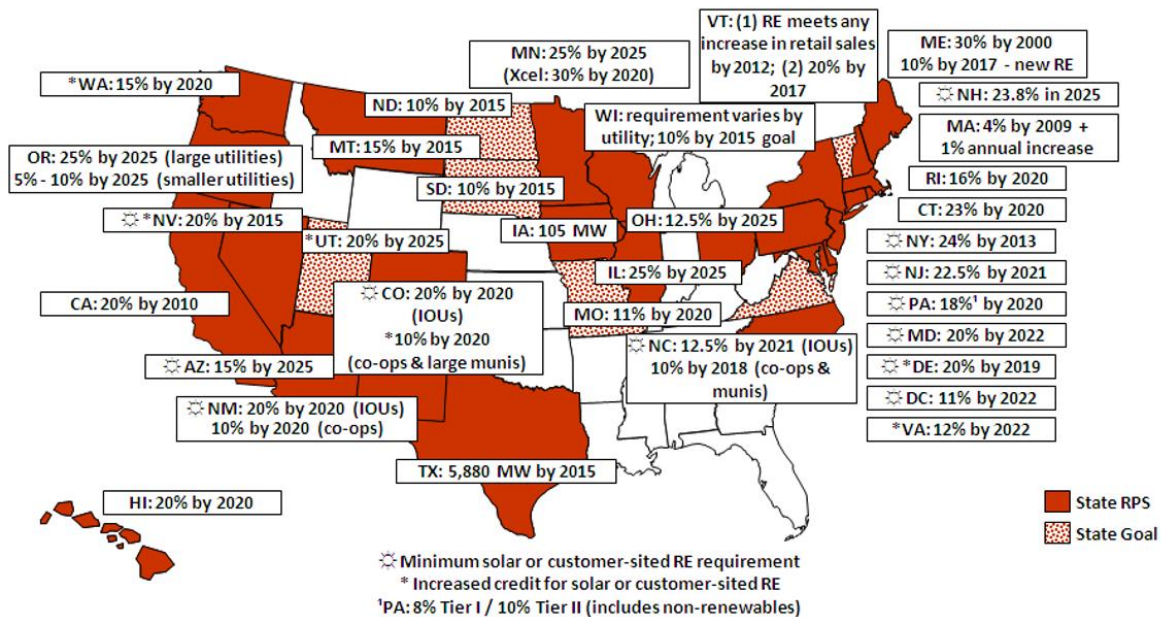


Figura 32. Metas de energía limpia 2008. Fuente: [39]

Para lograr el objetivo de alcanzar las metas estatales y globales presentadas en el programa, se daban incentivos fiscales y créditos con bajos intereses para la realización de fuertes inversiones en energías limpias. De la misma forma, estos porcentajes son similares a los que se presentan en el esquema de Certificados de Energía Limpia.

Como parte de las herramientas fiscales para apoyar la implementación de centrales limpias se encuentra el impuesto al carbono, muy utilizado en cerca de 40 países incluida Europa [40] donde se le implementa un impuesto a las plantas térmicas generadoras de electricidad aunque puede incrementar el costo en 75% de la energía producida por estos medios, misma razón por la que distintos países, entre ellos China y EE.UU., no la han adoptado [40].

Una herramienta fiscal más utilizada alrededor del mundo son las deducciones fiscales lo que se refleja en devoluciones de una parte del capital o créditos con capital gubernamental a tasas de interés bajas, así como exenciones a diversos impuestos como el impuesto al valor agregado, impuesto sobre la renta y aranceles en la importación de los materiales de construcción.

Renewable Energy Certificates (REC)

Los REC son Certificados que se otorgan a las centrales de generación Renovable por cada MWh, estos pueden ser un instrumento para cuantificar la energía renovable generada y en algunos mercados eléctricos como México, éstos pueden ser comercializados mediante algún mercado específico para ese fin, representando un ingreso adicional al generador. Estos REC puede estar

ligados al cumplimiento de las metas de generación del portafolio al que pertenecen o como en el caso de México funcionar para que las entidades que están obligadas a certificar sus porcentajes de energía limpia puedan cumplir dichas obligaciones.

La principal desventaja de utilizar los Certificados es la volatilidad de los precios y la inequidad de su operación ya que al estar sujetos a un mercado el precio se determinará de acuerdo con la oferta y demanda, lo que en caso de escases provocaría que el precio se elevara impactando directamente la facturación de los centros de carga; mientras que por el contrario al haber una sobreoferta de Certificados el precio sería cercano a cero, incluso pudiendo ser cero o en un caso más drástico, negativo, provocando incertidumbre en la recuperación del capital de las inversiones realizadas.

Existen variantes alrededor del mundo conocidos pero el funcionamiento básico es el mismo, como CEL, REC, *Tradable Green Certificates* o *International Renewable Energy Certificates* (I-REC), donde estos últimos pueden comercializarse internacionalmente.

4.3. Modificaciones en el Marco Regulatorio en otros países

Si bien en México la liberación del Mercado Eléctrico para la participación de cualquier empresa privada en un ambiente de igualdad es bastante reciente, toda vez que el Mercado de Corto Plazo comenzó su operación en 2016 y las obligaciones en materia de Certificados de Energía Limpia se dieron a partir del 2018; en otros países, esquemas similares comenzaron en los años noventa por lo que sus mercados son más maduros que el nuestro, como es el caso de Estados Unidos y diferentes países de la Unión Europea.

En Estados Unidos, para el 2008 se encontraba en la búsqueda de nuevos mecanismos para acelerar el crecimiento de las energías renovables ya que anteriormente contaba con metas de energías renovables en sus portafolios (*Renewable Portfolio Standard* o RPS), sobre todo nivel estatal, las cuales eran incentivadas con créditos especiales con bajos intereses. Para el 2012, al menos 30 estados de EE. UU. contaban con una obligación en sus RPS y ocho más con cumplimientos voluntarios [41] como se observa en la siguiente *Figura 33*.

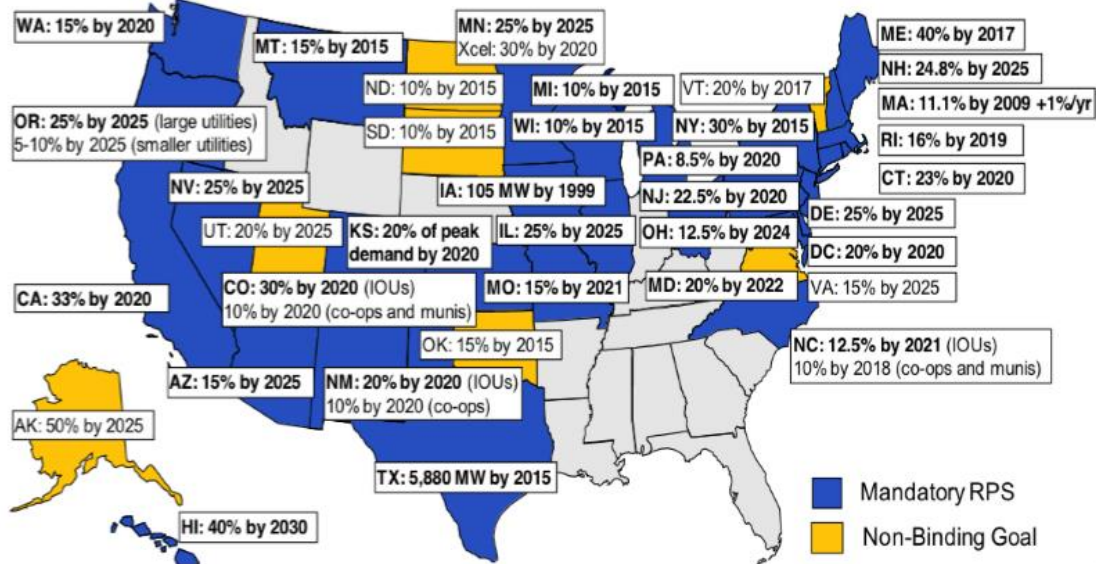


Figura 33. Fuente: IMCO 2015

Sin embargo, en 2004 se comparó el sistema de REC estaban muy ligados con la política de “Renewable Portfolio Standard” (RPS) en EU, como resultado de esa comparación que EU podría no adoptar las FIT debido conflicto visto este éstas y los REC en Europa, sin embargo, de 2006 a 3008 se vieron distintos cambios en políticas y propuestas para un FIT a nivel federal [39]. Como se observa en la siguiente imagen, diferentes estados de EE. UU. comenzaron a mediados del 2006 a realizar cambios en su legislación para incluir las *Feed In Tariffs* en sus modelos estatales para alcanzar las RPS marcadas.

Tomando como ejemplo el Estado de California, que combina los FIT con un mercado de Certificados, esto genera certidumbre a largo plazo para los inversionistas aunado logra acotar una de las desventajas de los mercados de certificados ya que caducan al tercer año [41].

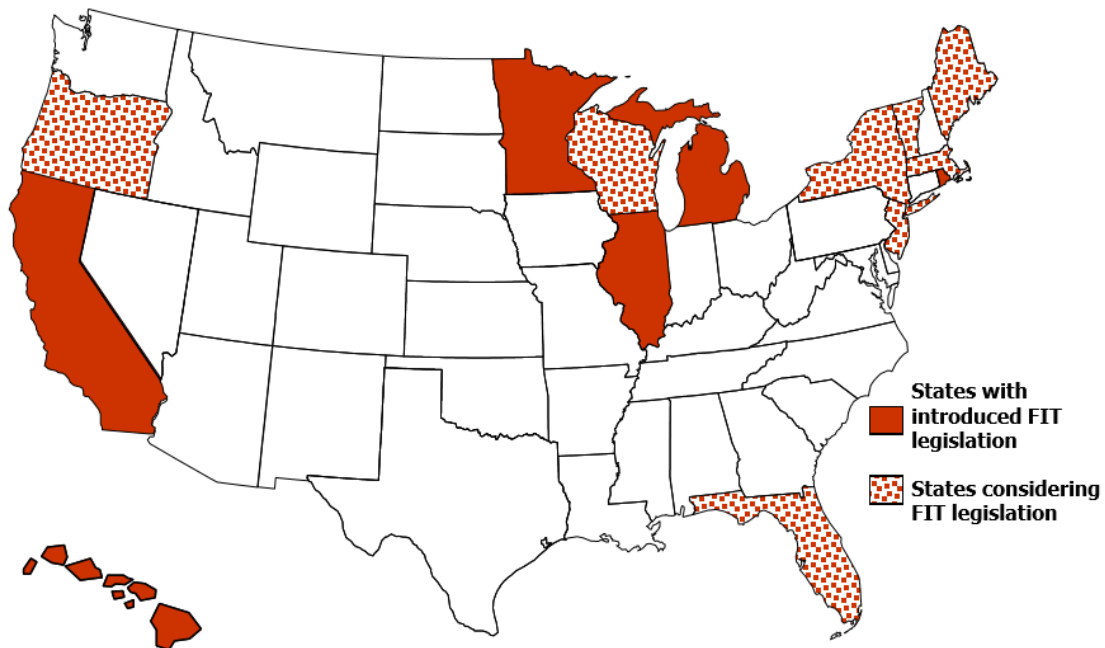


Figura 34. Estados en EU con modificaciones para FIT en 2006. Fuente: [39]

Para el Mercado de Gran Bretaña, el sistema de Certificados se modificó para dar lugar a otro instrumento financiero llamado Contratos por Diferencias, la modificación al esquema de Certificados se dio debido a las peticiones de organizaciones públicas y privadas que solicitaron un nuevo instrumento que diera más certidumbre en el largo plazo, ya que la problemática presentada fue la volatilidad de los precios [41]. En 2012 se implementó el esquema de los Contratos por Diferencias y junto con éste la creación de la Compañía de Contratos Bajos en Carbono, que es la entidad gubernamental encargada de manejar el mercado de CFD, aunado a esto el mercado de certificados seguirán vigentes hasta el 2037 pero en los últimos 10 años el órgano regulador británico (*Office of Gas and Markets*) establecerá los precios buscando evitar la volatilidad en los mismos ya que en 2013 al menos en diez ocasiones la escases de Certificados propició que el precio de estos fuera mayor al precio de la multa establecida por no adquirirlos. [41]

En el caso de Australia se tiene un ejemplo donde el mercado de certificados logró incentivar a la industria eléctrica de tal manera que la meta original de porcentaje de participación de energías renovables en su matriz energética fue superada y se espera que en 2020 se supere al menos por el 6% (26% en total) [41]. Este mercado tiene bastantes similitudes con el Mercado desarrollado en México como son que los certificados no tienen caducidad y los intercambios se dan mayoritariamente por contratos bilaterales, empero, una de las principales diferencias radica en la diferenciación en los Certificados algo que en la regulación en México no está especificado, pero es uno de los temas de interés que motivaron la realización del presente trabajo ya que esta diferenciación se dio a partir de una reforma al mercado en 2010 [41].

Para concluir con el caso australiano, es necesario tomar en cuenta que, en 2014, un Reporte de un panel de expertos [42] realizó dos posibles recomendaciones, cerrar el mercado de certificados a nuevos integrantes o implementar objetivos que incrementen cada año. Entre los principales

argumentos por los cuales se hicieron las recomendaciones es que los precios de la energía aumentaron en 4% al usuario final [41] así como que los precios en la tecnología solar han ido a la baja en los últimos años, por lo que se considera que ya podría no necesitar los Certificados para ser competitiva.

Como se observa en los 3 ejemplos presentados en este apartado, los Mercados de Certificados de Energías Limpias necesitan revisiones para ir modificando la legislación de manera que se logre incentivar la generación con fuentes limpias con el menor apoyo posible aunado a que las condiciones del país cambian constantemente ya que no son las mismas condiciones al inicio de cada mercado que diez años después y por lo mismo los instrumentos que incentivan las fuentes limpias también deben adaptarse al desarrollo del país.

4.4. Operación equitativa del Mercado Eléctrico en México

A lo largo de este trabajo se muestra el funcionamiento del Mercado de Certificados de Energía Limpia en México, así como de una manera no tan detallada el funcionamiento de otros mecanismos en el mundo que buscan el mismo fin que el de México, promover o incentivar la instalación de plantas de generación de energía limpia.

Entre los diferentes mecanismos que se revisaron se mencionan los *Feed in Tariffs* y los que están basados en Certificados, la principal diferencia entre ellos es que los Certificados no tiene con un precio inherente de ellos, sino que dependen de las condiciones del mercado, es decir, de la oferta y demanda, por lo que su precio es volátil y esto genera incertidumbre en las tasas internas de retorno de los proyectos, con el riesgo de que no se recupere la inversión o el retorno de la inversión sea en un tiempo mayor. En cambio, con los esquemas FiT buscan dar más certidumbre a las inversiones ya que buscan que a las centrales limpias que entren con este esquema tengan un ingreso mayor por la venta de energía eléctrica para de esa forma asegurar las Tasas de Retorno del proyecto.

En los Mercados de Certificados como el que opera en México, los precios de los certificados obedecen el mercado, por esto, los generadores para los cuales el precio del certificado que necesitan para obtener su Retorno planeado es bajo se benefician cuando el precio se encuentra encima de éste así que obtienen beneficios adicionales al presentarse estas situaciones de precio alto, caso contrario, cuando el precio de los certificados es bajo los Retornos de los proyectos son más largos. Los mercados de certificados operan con un principio de igualdad, principalmente cuando existe un mercado spot, ya que a todos los generadores que cuentan con Certificados y los venden al precio de mercado se les paga lo mismo, sin importar si obtienen ganancias extras o no alcanzan sus precios para obtener sus Retornos de Inversión.

En contraste con el esquema de *Feed in Tariffs*, donde los proyectos de generación de energía limpia reciben un porcentaje o un precio fijo extra por cada MWh buscando asegurar el retorno de la inversión.

En un sistema que funcione con equidad, a cada uno se le da lo que necesita ya que algunos necesitan más que otros y otros no necesitan, este principio de equidad debe trasladarse al Mercado de Certificados de Energía Limpia en México ya que como se ve en los resultados

obtenidos en el capítulo 3, cada proyecto tiene un retorno de inversión distinto, por lo que cada proyecto tiene un precio de Certificado asociado que haría viable el mismo. Si cada proyecto tiene un precio asociado dependiendo de su ubicación, tamaño y tipo de tecnología no tendría un ingreso innecesario o un apoyo extra, así como para los proyectos que necesiten que el Certificado de Energía tenga un precio mayor se les otorgaría obteniendo así el retorno de inversión necesario para hacer viable el proyecto.

4.5. Conclusión

El presente trabajo evidencia la necesidad de la operación de un mercado de energía limpia equitativo donde cada central tenga un precio de Certificado de energía limpia asociado, para lograr esto es necesario modificar la regulación actual en materia de Certificados de Energía Limpia, como vimos a lo largo de este capítulo, las modificaciones a los marcos regulatorios que buscan incentivar las energías limpias se han dado en Estados Unidos, Europa, Gran Bretaña y Australia, entre otros, ya que las condiciones del Mercado Eléctrico y la tendencia a la baja en los precios de la energía fotovoltaica así como la eólica cambian constantemente.

De acuerdo con los mecanismos actuales, los *Feed in Tariffs* operan de una forma más equitativa, aseguran los retornos de las inversiones y han promovido que se alcancen las metas de energía limpia en distintos países. Los Mercados que funcionan con Certificados de Energía funcionan más con una condición de igualdad, sin embargo, en el caso de Australia ha ido realizando modificaciones para la operación más equitativa, al punto que en 2014 se publicó un estudio [42] donde se menciona cerrar el mercado de energías limpias a nuevas plantas.

La operación equitativa del Mercado Eléctrico en México que se propone en este trabajo es un mercado donde el regulador, con base en la información proporcionada por los proyectos, identifique un precio para cada central en un largo periodo de tiempo para evitar la volatilidad del certificado, dando certidumbre a la inversión realizada en dicha planta. Este precio del Certificado será trasladado al usuario final donde funcione de la misma manera que lo ha venido realizando hasta el momento, salvo que todos los Usuarios Calificados pagarán el mismo precio por el Certificado, pero ese ingreso será trasladado a los generadores de forma equitativa donde el regulador o el operador de ese mercado tenga un balance cero.

5. Conclusiones

Como se describe a lo largo de este trabajo, la transición hacia un sistema eléctrico donde las energías limpias tengan una mayor participación es algo necesario debido a los compromisos que México firmó en los tratados internacionales enfocados a reducir o mitigar el cambio climático como fue el Protocolo de Kioto o el Acuerdo de París, donde el país se comprometió a reducir sus emisiones de dióxido de carbono y un medio para lograr esto fue comprometerse con la generación del 35% de la energía eléctrica del país con fuentes de energía limpia.

A partir de estos compromisos internacionales a los que México se adhirió, la legislación en México se fue reformando o creando nueva para poder lograr los compromisos como la promulgación de la Ley General de Cambio Climático y la Reforma Energética con la finalidad de poner las reglas claras del juego donde pudieran participar las instituciones privadas en la generación de energía eléctrica de la mano de las instituciones públicas, las cuales están encargadas tanto en la regulación como en la operación del sistema eléctrico.

Derivado de la Reforma Energética se definen las tecnologías catalogadas como limpias, entre las que destacan la energía solar, la energía eólica, la energía nuclear; para estas tecnologías se establece la posibilidad de obtener CEL por cada MWh generado lo que representa un incentivo para la instalación de centrales de energía limpia, con miras a cumplir el objetivo contraído en el Acuerdo de París para generar 35% de la energía generada en el país mediante fuentes de energía limpia para el 2024.

El medio por el que se pueden comercializar los CEL es el Mercado de CEL, que es parte del Mercado Eléctrico Mayorista creado a partir de la Reforma Energética. Dentro del Mercado de CEL, los usuarios consumidores de energía tienen la obligación de adquirir CEL, esta obligación es un porcentaje de su consumo anual, dicho porcentaje va incrementando cada año, donde comenzó en 5% y hasta septiembre de 2020 se ha publicado el requisito del año 2022 de 13.9%. Este mercado proveerá de un ingreso adicional para todas aquellas plantas generadoras de energía eléctrica limpia, lo que supone un incentivo para su instalación comparadas con centrales de tecnologías convencionales (Ciclo combinado, Gas, Carbón y combustóleo principalmente) ya que la tecnología convencional solo puede comercializar Energía Eléctrica, mientras que una central limpia comercializa Energía Eléctrica más Certificados de Energía Limpia.

El ingreso que las plantas limpias obtienen mediante la comercialización de CEL busca permitir que las centrales sean económicamente viables ya que los costos de instalación de centrales limpias son mayores a las centrales convencionales, por lo que los retornos de inversión son mayores, sin embargo, la comercialización de CEL permite alcanzar un retorno menor que permita a los inversionistas recuperar el capital invertido, esto se observa en la Tabla 10 y la Tabla 17, donde en la Tabla 10 se observan los proyectos en la evaluación inicial con el valor del VPN menor a cero o negativos, mientras que en la Tabla 17, cuando se agrega un ingreso por venta de CEL la Relación B/C es mayor o igual a uno, el detalle de los indicadores se encuentra en el Anexo 1.

Durante el capítulo tres se muestran estudios recopilados donde se obtiene el precio de CEL mínimo que permite a cada proyecto estudiado ser económicamente viable mediante la obtención de un Valor Presente Neto mayor o igual a cero y como se muestra en el capítulo, cada proyecto tiene un precio diferente a otro, esto principalmente por los costos de inversión, mismos que dependen del tipo de tecnología que se busque utilizar, en los resultados obtenidos se observan precios que van del rango de 0 hasta 3,836.25, esto refuerza la idea de las necesidades específicas de cada proyecto necesitan condiciones específicas para el mismo por lo que cada proyecto cuenta con un precio diferente de CEL mientras que el Mercado, basado en oferta y demanda basado en un principio de igualdad, tiene un rango de precio de CEL, donde se ubica cercano a los 20 USD/MWh con una tendencia descendente debido a las políticas públicas en materia de energía limpia impulsadas por la administración federal 2018-2024, en las que se busca incrementar la oferta de CEL en el mercado, lo que provoca que el precio baje debido a las reglas naturales de los mercados.

Los resultados obtenidos en el capítulo 3, más específicamente los precios de CEL mostrados en la *Figura 23*, permiten concluir que al tener cada proyecto un precio mínimo de CEL es necesario que el mercado opere con un principio de equidad que permita a cada generador limpio poder acceder a su precio mínimo y de esa forma la viabilidad del proyecto permita su construcción. Actualmente en el mercado no se tiene un precio fijo, si no un rango que varía entre los 10 USD/CEL a los 20 USD/CEL, sin embargo, como se observa en la *Figura 23* hay proyectos que no necesitan los CEL para lograr su viabilidad, como son el caso de centrales que utilizan tecnología Hidroeléctrica o algunos estudios de centrales fotovoltaicas, mismas que al vender sus CEL al precio de mercado están generando un excedente económico que no necesitan para su viabilidad como se expone en la Tabla 10 donde se muestra su VPN mayor a cero, en el caso de la central hidroeléctrica estudiada su VPN fue de 26,311 pesos mientras que el sistema fotovoltaico obtuvo un VPN de 801,186 pesos, mientras que otras centrales no logran obtener sus retornos de inversión debido al alto precio en que necesitan vender sus CEL, mismo que está fuera del rango del mercado actual de 10 a 20 USD/CEL, esto se muestra en la Tabla 17 donde se encuentran los valores mínimos de venta de los CEL con el rango de 0 a 3,826 pesos por CEL, donde los proyectos con valor de cero son aquellos que no necesitarían un ingreso adicional por venta de CEL.

Con base en el párrafo anterior, aunado a una observación que ya se tenía y que sirvió de base para la propuesta de esta tesis, se estudió y mostró con resultados numéricos de análisis económicos financieros, que se debe cambiar la visión del marco legal vigente en México, que actualmente tienen una operación y trato igualitario a los proyectos de energía limpia, por una visión de un trato equitativo, donde se dé más apoyo a quienes más lo requieren y menos apoyo a quienes no lo requieren dentro de la ley y del Mercado de Certificados de Energía Limpia en México. Llevando con esto al Mercado en México a dar a cada proyecto, a cada central que se conecte a la red los instrumentos e incentivos necesarios para que sus ingresos por energía, CEL y Potencia, les permitan alcanzar los niveles de viabilidad económica mínimos aceptables para los inversionistas, distribuyendo los incentivos económicos que ofrecen los CEL entre quienes más lo necesitan y menos con quienes no los necesitan.

Para el final del capítulo tercero se mostró que para algunos proyectos los precios mínimos de CEL requeridos son tan altos que el mercado no alcanzaría a pagar por esos CEL, por lo que hay

proyectos que ni con un esquema más equitativo en la operación del Mercado de CEL se lograría la viabilidad de los proyectos.

En otros países como Alemania o Estados Unidos se implementó el sistema de tarifas *Feed-in* donde los proyectos pueden vender la energía a un sobreprecio que permite a los mismos asegurar sus retornos de inversión, en algunos mercados se diferencian estas tarifas por su tipo de tecnología y su ubicación, lo que provoca que cada Tarifa Feed-in sea más acorde a las necesidades del proyecto operando así de una forma más equitativa y no de forma igualitaria como se realiza actualmente en el Mercado Eléctrico de México.

Como conclusión general y con base en los resultados mostrados en el capítulo tercer, México debe migrar hacia una operación más equitativa del Mercado Eléctrico tomando como premisa los resultados obtenidos en este trabajo que muestran la inequidad de los proyectos, ya que existen proyectos que no necesitan un incentivo, como los CEL, y otros que sí lo necesitan para asegurar sus retornos de inversión y el Mercado de CEL en México opera de una forma igualitaria donde todos los CEL se venden a un mismo precio o precios similares sin discriminarlos por tipo de tecnología; algunos ejemplos de operación equitativa de un mercado que incentive la instalación de centrales limpias es un sistema de mercado Feed-in como los que se tienen en Alemania, España o EUA, de donde México puede tomar las mejores prácticas de estos mecanismo para adaptarlas a su Mercado y se logre así una operación más equitativa del Mercado de Certificados de Energía Limpia.

Bibliografía

- [1] Expansión, «Expansión, Empresas: Las renovables logran suspender los cambios a los certificados limpios,» Expansión., 11 12 2019. [En línea]. Available: <https://expansion.mx/empresas/2019/12/11/las-renovables-logran-suspender-los-cambios-a-los-certificados-limpios>. [Último acceso: 03 02 2020].
- [2] Cámara de Diputados., Ley de la Industria Eléctrica., Diario Oficial de la Federación, 2014.
- [3] M. E. Raffino, «Concepto de,» 3 septiembre 2019. [En línea]. Available: <https://concepto.de/energias-limpias/>.
- [4] SEMARNAT, 15 10 2019. [En línea]. Available: <https://www.gob.mx/semarnat/es/articulos/que-son-las-energias-renovables?idiom=es>.
- [5] V. R. Hernández, La electricidad solar térmica, tan lejos, tan cerca., Barcelona, España: Fundación Gas Natural, 2009.
- [6] Protermo Solar, «Protermo Solar,» 16 10 2019. [En línea]. Available: <https://www.protermosolar.com/la-energia-termsolar/que-es-tipos-de-plantas-beneficios/>.
- [7] M. A. Rodríguez-Meza y J. L. Cervantes-Cota, «El Efecto fotoeléctrico,» 21 10 2019. [En línea]. Available: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=104/10413309>.
- [8] G. Knier, «¿Cómo Funcionan las Celdas Fotovoltaicas?,» 10 05 2010. [En línea]. Available: http://juan.aguarondeblas.es/CIE_Experimentando_con_la_Ciencia/rsc/FotoVoltaica2.pdf.
- [9] J. Moragues y A. Rapallini, «Energía Eólica,» Instituto Argentino de la Energía "General Mosconi", Buenos Aires, 2003.
- [10] Consejo de Seguridad Nuclear, «Consejo de Seguridad Nuclear,» Consejo de Seguridad Nuclear, 30 10 2019. [En línea]. Available: <https://www.csn.es/la-energia-nuclear>. [Último acceso: 30 10 2019].
- [11] R. Resnick, D. Halliday y K. S. Krane, Física, vol. 2, México: Grupo Editorial Patria, 2011.
- [12] P. C. M. Walter C Patterson, La energía nuclear, Orbis, 1986.
- [13] Instituto Nacional de Energía Limpia, «Instituto Nacional de Energía Limpia,» 02 11 2019. [En línea]. Available: <https://dgel.energia.gob.mx/inel/CleanEnergies.html>.
- [14] S. S. S. Armando Moreno Almaraz, «Repotenciación de centrales hidroeléctricas,» *Revista Transición Energética*, pp. 26-31, 2019.

- [15] Secretaría de Energía, Metodología, Criterios y Térmicos para Contratos Legados, Ciudad de México: Revista Transición Energética, 2017.
- [16] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Guía de Programas de Fomento a la Generación de Energía con Recursos Renovables, Ciudad de México: Subsecretaría de Fomento y Normatividad Ambiental, 3a edición, 2015.
- [17] C. B. David, Calidad de la energía en los sistemas eléctricos de potencia, Ciudad de México: Facultad de Ingeniería UNAM, 2011.
- [18] R. M. Mujal Rosas, Tecnología eléctrica, Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña, 2003.
- [19] Secretaría de Energía , «Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2018 - 2032,» Secretaría de Energía, Ciudad de México, 2019.
- [20] Comisión Reguladora de Energía, Código de Red, Ciudad de México: Comisión Reguladora de Energía, 2016.
- [21] Secretaría de Energía, Bases del Mercado Eléctrico., Ciudad de México: Diario Oficial de la Federación, 2015.
- [22] O. U. Flores Parra Bravo, «Requisito de Certificados de Energía Limpia: Centro de Energía ITAM,» 18 01 2020. [En línea]. Available: http://centrodeenergia.itam.mx/sites/default/files/centrodeenergiaitammx/eventos/adjuntos/2016/04/requisito_cel_2019_oliver_flores.pdf.
- [23] CENACE, «Quiénes Somos: CENACE,» 18 01 2020. [En línea]. Available: <https://www.cenace.gob.mx/CENACE.aspx>.
- [24] Comisión Reguladora de Energía, «¿Qué hacemos?: Comisión Reguladora de Energía.,» 19 01 2020. [En línea]. Available: <https://www.gob.mx/cre/que-hacemos>.
- [25] G. Baca Urbina, Evaluación de Proyectos, Sexta edición, Ciudad de México: McGraw Hill, 2010.
- [26] G. Baca Urbina, Fundamentos de Ingeniería Económica, Ciudad de México: McGraw-Hill, 2007.
- [27] G. León y S. Juárez-Hernandez, «Energía eólica en el istmo de Tehuantepec: Desarrollo, Actores y Oposición Social,» *Revista Problemas del Desarrollo*, vol. 45, nº 178, pp. 139-162, 2014.
- [28] F. Jiménez Pineda, F. A. Rojas Estrella, H. G. Arrona Velázquez y J. M. Estrada Nieto, Autoabastecimiento de energía eléctrica en mercados públicos del Distrito Federal: utilizando energía eólica., Ciudad de México: Facultad de Ingeniería UNAM., 2012.

- [29] P. L. Lechuga Xoconostle, R. Llanos Rivas, I. López Cruz, C. G. López Madrigal y V. J. Soto Jacinto, Viabilidad técnica y económica de un sistema de autoabastecimiento eléctrico para un supermercado con base en generación solar fotovoltaica. Caso de estudio Wal-Mart "Nichupté" ubicado en el Estado de Quintana Roo, Ciudad de México: Facultad de Ingeniería UNAM, 2013.
- [30] J. P. Martí Trespacios, Proyecto de central de generación eléctrica limpia en Jajalpasco, Puebla, Ciudad de México: Facultad de Ingeniería, UNAM, 2018.
- [31] Academia de Contratación Pública de México, «Testimonio para la Subasta de Largo Plazo SLP-1/2017,» CENACE, Ciudad de México, 2017.
- [32] Monitor Independiente del Mercado, «Reporte Anual del Mercado Eléctrico Mayorista 2017,» 2017.
- [33] Monitor Independiente del Mercado Eléctrico, «Reporte Anual del Mercado Eléctrico Mayorista 2019,» Esta International, Ciudad de México, 2020.
- [34] Back to Green, «La cotización del CEL, por encima de los \$30,» Back to Green, 07 diciembre 2017. [En línea]. Available: <https://blacktogreen.com/2017/12/la-cotizacion-del-cel-los-32/>. [Último acceso: 03 octubre 2020].
- [35] D. W. Aitken y ISES, Libro Blanco: Transición hacia un futuro basado en las Fuentes Renovables de Energía, Freiburg, Alemania: Sociedad Internacional de Energía Solar, 2003.
- [36] W. Kenton, «Investopedia,» 24 mayo 2020. [En línea]. Available: <https://www.investopedia.com/terms/f/feed-in-tariff.asp>. [Último acceso: 30 mayo 2020].
- [37] S. Leyton, «Central Energía,» 13 julio 2010. [En línea]. Available: <http://www.centralenergia.cl/2010/07/13/feed-in-tariff/>. [Último acceso: 30 mayo 2020].
- [38] M. Mendonça y D. Jacobs, «Renewable Energy World,» 9 septiembre 2009. [En línea]. Available: <https://www.renewableenergyworld.com/2009/09/17/feed-in-tariffs-go-global-policy-in-practice/>. [Último acceso: 30 mayo 2020].
- [39] W. Rickerson, F. Bennhlof y J. Bradbury, Feed-in Tariffs and Renewable Energy in the USA – a Policy Update, 2008.
- [40] J. P. Franco Osorio, CARACTERIZACIÓN DE ESTÍMULOS ECONÓMICOS USADOS EN EL MUNDO QUE PUEDAN SER IMPLEMENTADOS EN COLOMBIA PARA FOMENTAR LA INVERSIÓN EN GENERACIÓN EÓLICA, Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 2016.
- [41] Instituto Mexicano para la Competitividad, CEL's: Consideraciones para promover su inversión, CDMX: Instituto Mexicano para la Competitividad, 2015.
- [42] Commonwealth of Australia 2014, Renewable Energy Target Scheme, 2014.

- [43] E. Cisneros García, Análisis y viabilidad para el establecimiento de plantas getotérmicas en el estado de Chiapas, México., Ciudad de México: ESIA, IPN, 2017.
- [44] J. R. Pérez Callejas y V. G. Miranda Alvarado, Generación de Energía Eléctrica por medio de un aerogenerador para la colonia Altamira, municipio Altamira, Tamaulipas, Ciudad de México: ESIME, IPN, 2018.
- [45] L. Acevedo Solano, Evaluación Técnica-Económica de un sistema de generación eléctrica en base a una micro turbina hidráulica., Ciudad de México: Facultad de Ingeniería, UNAM., 2014.
- [46] G. Sebastián Barrera, Desempeño de plantas térmicas solares con almacenamiento de energía: Zona Nogales y Casas Grandes., Ciudad de México. : Facultad de Ingeniería, UNAM., 2019.
- [47] J. C. Córdova Montaña, Aprovechamiento de los residuos de la granja porcícola mesa del seri, en Hermosillo Sonora, para la generación de Energía Eléctrica para su autoabastecimiento., Ciudad de México: Facultad de Ingeniería, UNAM, 2011.
- [48] A. Bárcena Maldonado y S. Bárcena Maldonado, Aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica dentro de un proyecto de vivienda sustentable., Ciudad de México: Facultad de Ingeniería, UNAM., 2014.
- [49] L. R. Antonio Guzmán, A. Rivera Flores y J. Soto Padilla, Propuesta de Generación Eléctrica en un estacionamiento utilizando paneles fotovoltaicos con interconexión a la red., Ciudad de México: ESIME, IPN, 2016.
- [50] O. Gasca Cruz, Estudio Técnico-Económico para la implementación de un sistema solar fotovoltaico en tiendas de conveniencia., Ciudad de México: ESIME, IPN, 2012.
- [51] H. M. Aviña Jiménez, Repotenciación de la capacidad de la planta de Cerro Prieto de la CFE, incorporando el uso de energía solar., Ciudad de México: Facultad de Ingeniería, UNAM, 2010.
- [52] G. Rodríguez Martínez y G. I. Lara Pérez, Estudio de la factibilidad para implementar una fuente de generación eólica para viviendas rurales de la península de Yucatán, Ciudad de México: ESIME, IPN, 2017.
- [53] J. A. Olmos Godínez, A. S. Sánchez Flores y E. G. Valdez Monroy, Propuesta y análisis de un sistema fotovoltaico de autoabastecimiento eléctrico, Ciudad de México: Facultad de Ingeniería, UNAM, 2014.
- [54] E. N. S. Web, «Energía Nuclear,» 30 10 2019. [En línea]. Available: <https://energia-nuclear.net/que-es-la-energia-nuclear>.
- [55] A. d. S. E. Chile, «Agencia de Sostenibilidad Energética Chile,» 02 11 2019. [En línea]. Available: <https://www.cogeneracioneficiente.cl/que-es-cogeneracion/>.

- [56] Comisión Reguladora de Energía, «Comisión Reguladora de Energía,» 22 02 2011. [En línea]. Available: <http://www.cre.gob.mx/documento/2299.pdf>.
- [57] Blog Recursos Humanos, «Blog Recursos Humanos,» 06 11 2019. [En línea]. Available: <https://www.amedirh.com.mx/blogrh/sector-energetico-en-rh/implementacion-de-la-reforma-energetica-energia-eolica/>.
- [58] Dream, «Cómo funciona el sistema eléctrico de Argentina,» 15 11 2019. [En línea]. Available: <https://www.youbioit.com/es/article/informacion-compartida/26481/por-que-en-capital-federal-se-paga-mas-barata-la-electricidad-q>.
- [59] Latam Energy, «Latam Energy,» 20 11 2019. [En línea]. Available: <http://www.latam-energy.com/2017/06/07/chile-energias-renovables-no-convencionales-duplican-su-uso/>.
- [60] E. Tabuenca, «ECO trendies,» 18 12 2019. [En línea]. Available: <https://ecotrendies.com/subestaciones-electricas-que-son-utilidad-tipos-y-partes.html>.
- [61] CENACE, «Programa de Ampliación y Modernización de la Red Nacional de Transmisión y Redes Generales de Dsitribución del Mercado Eléctrico Mayorista.,» CENACE, CDMX, 2019.
- [62] Organización Panamericana de la Salud, «Curso Básico de autoinstrucción,» 22 Octubre 2019. [En línea]. Available: http://www.bvsde.paho.org/cursoa_meteoro/index.html.

Nomenclatura

B/C: Relación Beneficio Costo

CEL: Certificados de Energía Limpia.

CdD: Contratos de Diferencias.

CENACE: Centro Nacional de Control de Energía.

CRE: Comisión Reguladora de Energía.

CONUEE: Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía Eléctrica

FiT: Feed in Tariffs.

ISO: International System Operator.

LIE: Ley de la Industria Eléctrica.

LGCC: Ley General de Cambio Climático.

LTE: Ley de Transición Energética.

MEM: Mercado Eléctrico Mayorista.

MIM: Monitor Independiente de Mercado.

OCDE: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos

PRODESEN: Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrica Nacional.

SENER: Secretaría de Energía.

SIE: Sistema de Información Energética.

TIR: Tasa Interna de Retorno.

TREMA: Tasa de Rendimiento Mínimo Aceptable.

VPN: Valor Presente Neto.

Índice de figuras

Figura 1. Generación por tipo de tecnología en 2018 México. Fuente: PRODESEN 2019	7
Figura 2. Energías Limpias INEL. Fuente: https://dgel.energia.gob.mx/inel/CleanEnergies.html . Consultada: 02 de noviembre de 2019	12
Figura 3. Planta Termo solar. Fuente: www.protermosolar.com/la-energia-termosolar/que-es-tipos-de-plantas-beneficios . Consultada: 16 de octubre 2019	13
Figura 4. El efecto fotoeléctrico.	14
Figura 5. Fisión nuclear. Fuente: https://energia-nuclear.net/que-es-la-energia-nuclear/fision-nuclear Consultada: 30 de octubre de 2019	16
Figura 6. Cogeneración vs generación convencional. Fuente: https://www.cogeneracioneficiente.cl/que-es-cogeneracion/ Consultada: 02 de noviembre de 2020.....	17
Figura 7. Mecanismos y políticas públicas de fomento de energías renovables. Fuente: SENER. ...	18
Figura 8. Matriz Energética 2017, 2024 y 2031. Fuente: https://www.amedirh.com.mx/blogrh/sector-energetico-en-rh/implementacion-de-la-reforma-energetica-energia-eolica/ consultada: 12 de noviembre de 2020.....	19
Figura 9. Capacidad Instalada por tipo de Tecnología. PRODESEN 2018-2032	21
Figura 10. Generación de Electricidad por Tecnología. PRODESEN 2018-2032.....	22
Figura 11. Generación de energía Limpia 2016 y 2017. PRODESEN 2018-2032	22
Figura 12. Central Geotérmica. Fuente: http://www.latam-energy.com/wp-content/uploads/2017/06/diagrama-central-geotermica.png Consultada: 22 de noviembre de 2020.....	23
Figura 13. Mapa de capacidad eólica instalada. Fuente: http://www.amdee.org/mapas-eolicos.html Consultada: 28 de noviembre de 2019.	24
Figura 14. Centrales fotovoltaicas en México a noviembre de 2019. Fuente: ASOLMEX.....	25
Figura 15. Consumo eléctrico por sector en 2017. Fuente: SIE	26
Figura 16. Pronóstico de consumo por sector 2019-2032. Fuente: PRODESEN 2019.	27
Figura 17. Estructura del MEM. Fuente: CENACE	30
Figura 18. Derechos y obligaciones CEL. Fuente: http://centrodeenergia.itam.mx/sites/default/files/centrodeenergaitam.mx/eventos/aadjuntos/2016/04/requisito_cel_2019_oliver_flores.pdf	32
Figura 19. Esquemas para las Energías Limpias. Fuente: http://centrodeenergia.itam.mx/sites/default/files/centrodeenergaitam.mx/eventos/aadjuntos/2016/04/requisito_cel_2019_oliver_flores.pdf Consultada: 10 de diciembre de 2020.....	33
Figura 20. Metodología general de evaluación de proyectos. Fuente: Evaluación de proyectos, Baca Urbina [25].	39
Figura 21. Sensibilidad del VPN al precio de venta de energía. [30].....	47
Figura 22. Resultados Subastas de Largo Plazo [31]	55
Figura 23. Precio mínimo de CEL de los proyectos estudiados. Elaboración propia.	61
Figura 24. Precio mínimo de Energía más CEL. Elaboración propia.....	61
Figura 25. Precio CEL proyectos eólicos. Elaboración propia.....	62
Figura 26. Precio CEL + Energía, proyectos eólicos. Elaboración propia.....	62
Figura 27. Precio CEL proyectos fotovoltaicos. Elaboración propia.....	63
Figura 28. Precio CEL + Energía, proyectos fotovoltaicos. Elaboración propia.....	63

Figura 29. Comportamiento del PML en 2016 y 2017. Fuente: MIM	65
Figura 30. Comportamiento del PML 2018 y 2019. Fuente: MIM	66
Figura 31. Metas de Energía Limpia. Fuente [22]	69
Figura 32. Metas de energía limpia 2008. Fuente: [39]	72
Figura 33. Fuente: IMCO 2015	74
Figura 34. Estados en EU con modificaciones para FIT en 2006. Fuente: [39]	75

Índice de tablas.

Tabla 1. Matriz para determinación de multas por incumplimiento de CEL. Fuente: CRE.....	35
Tabla 2. Evaluación Económica sistema de autoabastecimiento en mercados [28]	44
Tabla 3. Indicadores económicos con aerogenerador de 2.3 MW. [28]	44
Tabla 4. Tabla Resultado análisis económico Tesis auto abasto supermercado. [29]	45
Tabla 5. Ofertas ganadoras SLP 2016. [30]	46
Tabla 6. Resultado económico de la central de energía limpia en Jajalpasco, Puebla [30].....	46
Tabla 7. Resultados Evaluación Económica caso 1, autoabasto en mercados. Elaboración propia.	49
Tabla 8. Resultados Evaluación Económica caso 2, autoabasto en mercados. Elaboración propia.	50
Tabla 9. Resultados del Análisis económico, sistema fotovoltaico Wal-Mart Cancún. Elaboración propia.	51
Tabla 10. Evaluación inicial de los proyectos recopilados. Elaboración propia.	52
Tabla 11. Tarifas DAC septiembre 2020. Fuente: https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/TarifasCRECasa/Tarifas/TarifaDAC.aspx septiembre 2020.....	53
Tabla 12. Tarifas GDMTO, GDMTH, DIST, septiembre 2020. Fuente: CFE	54
Tabla 13. Precios Promedio Subastas de Largo Plazo. Elaboración propia con datos de CENACE ...	55
Tabla 14. Evaluación económica del proyecto [29] con un precio mínimo de CEL.....	56
Tabla 15. Evaluación económica con un precio mínimo de CEL, proyecto de auto abasto en mercados. [28]	57
Tabla 16. Análisis económico precio mínimo de CEL del proyecto de auto abasto en mercados con aerogenerador de 2.3 MW.....	57
Tabla 17. Resultados de la evaluación económica de los proyectos recopilados con ingresos por venta de CEL.....	58
Tabla 18. Requisitos de CEL 2018-2022	69

Índice de Ecuaciones.

Ecuación 1. % de incumplimiento de CEL. Fuente: Asesoría Energética con información de la CRE.	35
Ecuación 2. Valor del Dinero en el Tiempo [25].	40
Ecuación 3. VPN igualado a cero.	40
Ecuación 4. Coeficiente de actualización con inflación.	49
Ecuación 5. Actualización de costo de inversión.	49
Ecuación 6. Porcentaje de incumplimiento.	70

Anexo 1

En este anexo se muestran las tablas de resultados de los proyectos estudiados para la realización de esta tesis, en estos resultados se muestran los indicadores económicos que permiten determinar la viabilidad de los proyectos, estos resultados ya contemplan un valor de venta para los CEL.

1.- Resultados evaluación económica estudios de plantas geotérmicas en Chiapas. [43]

Económica		
Trema		12.00%
VPN en	2020	\$502,568
AE		\$67,283
B/C		1.25
TIR		15.86%
TIRM		13.27%
PR simple		6.01

2.- Resultados evaluación económica Planta eólica en Altamira Tamaulipas. [44]

Económica		
Trema		12.00%
VPN en	2020	\$21,993,466
AE		\$2,944,458
B/C		2.80
TIR		37.04%
TIRM		17.91%
PR simple		2.72

3.- Resultados evaluación Planta microturbina hidráulica. [45]

Económica		
Trema		12.00%
VPN en	2020	\$801,186
AE		\$107,262
B/C		1.55
TIR		20.75%
TIRM		14.47%
PR simple		4.54

4.- Resultado evaluación Planta térmicas solares, configuración 4. [46]

Económica		
Trema		12.00%
VPN en	2020	\$5,014,586
AE		\$671,347
B/C		1.00
TIR		12.01%
TIRM		12.01%
PR simple		7.61

5.- Configuración 1.

Económica		
Trema		12.00%
VPN en	2020	\$11,756,129
AE		\$1,573,896
B/C		1.00
TIR		12.01%
TIRM		12.00%
PR simple		7.54

6.- Resultado económico granja porcícola. [47]

Económica		
Trema		12.00%
VPN en	2020	\$2,645
AE		\$354
B/C		1.00
TIR		12.04%
TIRM		12.02%
PR simple		7.61

7.- Resultado económico vivienda sustentable. [48]

Económica		
Trema		12.00%
VPN en	2020	\$215
AE		\$29
B/C		1.00
TIR		12.02%

TIRM		12.01%
PR simple		7.68

8.- Resultado económico sistema fotovoltaico en estacionamiento. [49]

Económica		
Trema		12.00%
VPN en	2020	\$8,947
AE		\$1,198
B/C		1.00
TIR		12.01%
TIRM		12.00%
PR simple		7.66

9.- Resultado económico sistema fotovoltaico en tienda de conveniencia. [50]

Económica		
Trema		12.00%
VPN en	2020	\$114
AE		\$15
B/C		1.00
TIR		12.01%
TIRM		12.00%
PR simple		7.71

10.- Resultado económico sistema solar en repotenciación de Cerro Prieto. [51]

Económica		
Trema		12.00%
VPN en	2020	\$87,421
AE		\$11,704
B/C		1.00
TIR		12.00%
TIRM		12.00%
PR simple		7.77

11.- Resultado económico sistema eólico en Yucatán. [52]

Económica		
Trema		12.00%
VPN en	2020	\$17,213
AE		\$2,304

B/C		1.00
TIR		12.01%
TIRM		12.00%
PR simple		7.60

12.- Resultado económico proyecto limpio en Jajalpasco Puebla. [30]

Económica		
Trema		12.00%
VPN en	2020	\$492,535
AE		\$65,940
B/C		1.00
TIR		12.02%
TIRM		12.01%
PR simple		7.81

13.- Resultado económico sistema fotovoltaico en auto abasto. [53]

Económica		
Trema		12.00%
VPN en	2020	\$26,312
AE		\$3,523
B/C		1.01
TIR		12.14%
TIRM		12.05%
PR simple		7.54

14.- Resultado económico sistema fotovoltaico para auto abasto en Wal-Mart Cancún. [29]

Económica		
Trema		12.00%
VPN en	2020	\$75,201
AE		\$10,068
B/C		1.00
TIR		12.03%
TIRM		12.01%
PR simple		7.58

15.- Resultado económico sistema eólico en mercados. [28]

Económica		
Trema		12.00%

VPN en	2020	\$16,717
AE		\$2,238
B/C		1.00
TIR		12.00%
TIRM		12.00%
PR simple		7.69

16.- Configuración aerogenerador de 2.3 MW.

Económica		
Trema		12.00%
VPN en	2020	\$108,885
AE		\$14,577
B/C		1.00
TIR		12.02%
TIRM		12.01%
PR simple		7.73