



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO DE ECONOMIA

**Instituto de Investigaciones Económicas
Economía de la Tecnología**

***CURVAS DE APRENDIZAJE EN LA EVOLUCIÓN
TECNOLÓGICA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA
POR FUENTES RENOVABLES EN MÉXICO.***

Tesis que para optar por el grado de:

**MAESTRO EN ECONOMÍA,
EN
ECONOMÍA DE LA TECNOLOGÍA**

Presenta:

Ing. Ricardo Carreón Sosa

TUTOR:

Dr. David Bonilla Vargas.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS

Ciudad de México , Posgrado Economía, Diciembre 2017.



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.

“CURVAS DE APRENDIZAJE EN LA EVOLUCIÓN TECNOLÓGICA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR FUENTES RENOVABLES EN MÉXICO”.

INDICE:

INTRODUCCIÓN

• Agradecimientos.....	4
• Planteamiento.....	5
• Objetivo.....	12
• Preguntas de investigación.....	12
• Hipótesis.....	12

1.CAPITULO PRIMERO.

MARCO TEORICO Y METODOLOGÍA. CURVAS DE APRENDIZAJE.

1.1 Sociedad del conocimiento, perspectivas económicas.....	13
1.2 Metodología.....	14
1.2.1 Estimación de la curva de aprendizaje.....	20
1.2.2 Modelo matemático.....	20

2.CAPITULO SEGUNDO.

CONTEXTO INTERNACIONAL DE LAS FUENTES DE GENERACIÓN ENERGETICA 2004 2015

2.1 Contexto y Evolución Internacional del sector de generación de energía eléctrica.....	22
2.1.1 Tecnologías no Renovables en el Mundo.....	22
2.1.1.1 Termoeléctrica Convencional.....	22
2.1.1.2 Carboeléctricas.....	23
2.1.1.3 Centrales térmicas de ciclo combinado.....	25
2.1.2 Tecnologías Limpias en el Mundo.....	26
2.1.2.1 Cogeneración.....	26
2.1.2.2 Energía Nuclear.....	27
2.1.3 Tecnologías Renovables en el Mundo.....	28
2.1.3.1 Energía Geotérmica.....	32
2.1.3.2 Energía Hidráulica.....	33
2.1.3.3 Bioenergía en el mundo.....	35
2.1.3.4 Energía Solar Fotovoltaica.....	38
2.1.3.5 Energía Eólica.....	40
2.1.3.6 Energía Oceánica.....	44
2.1.3.7 Resumen.....	45

INDICE:

2.CAPITULO SEGUNDO.

CONTEXTO NACIONAL DE LAS FUENTES DE GENERACIÓN ENERGETICA 2004 2015

2.2 Contexto y Evolución Nacional del sector de generación de energía eléctrica.	46
2.2.1 Tecnologías Convencionales en México.....	48
2.2.1.1 Termoeléctrica Convencional.	49
2.2.1.2 Centrales térmicas de ciclo combinado	51
2.2.1.3 Carboeléctricas.....	51
2.2.1.4 Lecho Fluidizado.	51
2.2.1.5 Turbogas.....	51
2.2.2 Tecnologías Limpias en México.....	53
2.2.2.1 Cogeneración.....	54
2.2.2.2 Energía Nuclear.....	54
2.2.3 Tecnologías Renovables en México.....	55
2.2.3.1 Energía Geotérmica.	59
2.2.3.2 Energía Hidráulica	61
2.2.3.3 Energía Solar Fotovoltaica	64
2.2.3.4 Energía por Bagazo de Caña.	66
2.2.3.5 Energía por biogás	67
2.2.3.6 Energía Eólica.....	68
2.2.3.7 Resumen.....	73

3 CAPITULO TERCERO. ANALISIS DE DATOS.

Curvas de Aprendizaje en las Principales Fuentes de Generación de Energía Renovable en México.

3.1 Curva de aprendizaje “Biogás en México.....	75
3.2 Curva de aprendizaje “Bagazo de caña en México”	77
3.3 Curva de aprendizaje “Energía hidroeléctrica México”	79
3.4 Curva de aprendizaje “Energía geotérmica en México”	81
3.5 Curva de aprendizaje “Energía fotovoltaica en México”	83
3.6 Curva de aprendizaje “Energía eólica en México.....	85
3.7 Análisis de Resultados.	87
4 CONCLUSIONES GENERALES.....	88
5 BIBLIOGRAFÍA.....	89
6 TABLAS Y FIGURAS.....	93

Agradecimientos

Manifiesto mi profunda gratitud a mis padres, Antonio Carreón y María Sosa, quienes han sabido guiarme y mostrarme el camino, con disciplina y pasión por la vida, siempre con amor, aliento y perseverancia en cada etapa de manera incondicional.

A mi hijo, Matías Dante, como mi principal motivación para superarme, le agradezco su ternura, su alegría y su inmensa energía por aprender y sonreír ante la vida.

A mi familia, hermanos, Jose, Víctor y Moni, sobrinos, Alex y Marisol, les doy gracias por ser pilares en la construcción de mi vida y profesión, acompañándome siempre en los momentos más difíciles e importantes de la vida.

De manera muy especial a mi tutor el Dr. David Bonilla, agradezco su asesoría, y consejos para la elaboración de esta investigación, además de su valioso tiempo y su motivación a continuar mi preparación académica.

Al Dr. Leonel Corona y al Dr. Javier Jaso ofrezco un agradecimiento muy grande, por acompañarme en toda la maestría en la construcción de mi proyecto de investigación, además de apoyarme en la consecución de cada uno de los retos y las metas profesionales propuestas.

Al Dr. Fluvio Ruiz y al Dr. Raúl Alvarado, extendiendo una enorme gratitud, por su disponibilidad y su profesional apoyo que demostraron en la elaboración de esta tesis.

Agradezco al Maestro Alejandro Merino, quien me brindo todo su apoyo en la coordinación y preparación de, con un extraordinario profesionalismo.

Introducción

Se presenta a continuación una investigación que analiza el desarrollo de la energía renovable en México y explica las tendencias que experimenta el crecimiento de este sector a partir de su evolución en la participación de generación de energía eléctrica del año 2004 a 2015, destacando las tecnologías que reflejan una mayor experiencia acumulada a partir de su tasa de aprendizaje.

Está basada en un análisis cuantitativo, utilizando un método denominado “curvas de aprendizaje” el cual toma como referencia la disminución de tiempo de implementación de proyectos de generación de energía eléctrica, cada vez que aumenta la cantidad de energía eléctrica generada por las distintas alternativas de fuentes renovables, ofreciendo aportaciones en la factibilidad y en la toma de decisiones en la implementación de proyectos en el sector eléctrico en México.

Cuanto mayor sea la experiencia acumulada en el proceso de generación de energía eléctrica, menor será el tiempo de generación de la misma cantidad de electricidad en el siguiente periodo por fuentes renovables, o visto de otra manera; “En el mismo periodo de tiempo la experiencia acumulada permite superar la generación de electricidad que el periodo anterior”.

Planteamiento

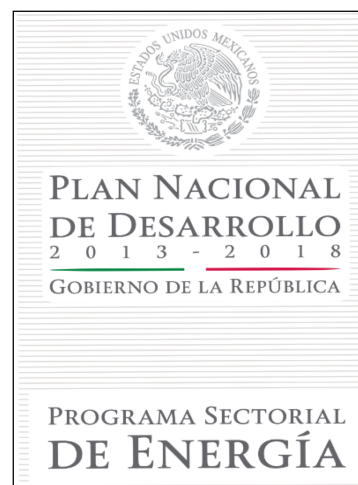
El desarrollo de esta investigación se ofrece en varias etapas, comenzando por describir los antecedentes que involucran el origen y desarrollo del uso de recursos para generar electricidad por medios renovables y se ofrece un panorama actual desde los diversos enfoques económicos a fin de interpretar la información económica, estadística, y los datos que se obtenga a partir de modelos matemáticos de curvas de aprendizaje para representar los fenómenos económicos empleando una técnica cuantitativa para explicar y valorar las tendencias nacionales previstas por el gobierno federal mexicano y analizar el comportamiento de las variables económicas involucradas.

En México se ha impulsado la transición a un consumo de energía más responsable y una generación de energía por fuentes cada vez más amigables con el ambiente. La reforma es un cambio estructural que ajusta la forma de hacer negocios, con un enfoque de mercado.

Uno de los documentos rectores en el actual Gobierno de la república (2017) es el plan de desarrollo (2013-2018) en el cual se definen las actividades que se llevarán a cabo durante la administración en dicho periodo.

Se mencionan en el plan los principales retos de la secretaria de energía para orientar las acciones a la solución de los obstáculos que limitan el abasto de energía y buscan promover la construcción y modernización de la infraestructura del sector y la modernización organizacional, de la estructura y regulación de las actividades energéticas.

Fig. 1. Plan Nacional de desarrollo



Fuente. Gobierno de la Republica

Una de las líneas de acción del plan de desarrollo del Gobierno de la república se menciona a continuación. "El uso y suministro de energía son esenciales para las actividades productivas de cualquier sociedad; su escasez se convierte en un obstáculo para el crecimiento y desarrollo económico. Por ello, es imperativo que el sector sea capaz de satisfacer las necesidades energéticas, identificando de manera anticipada los requerimientos asociados al crecimiento económico y promoviendo el uso eficiente de la energía"

Para lograr el fin de aumentar la participación de fuentes amigables con el ambiente dentro del abastecimiento energético nacional se han desarrollado estrategias y políticas públicas en el sector de energía que tienen como propósito desarrollar mecanismos en el sector energético que intensifique el desarrollo del país y que incorpore a todos los mexicanos en los beneficios que derivan del acceso y consumo de la energía.

Dentro de los principales programas especiales se encuentran los siguientes:

- Programa especial para el aprovechamiento de las energías renovables (2014-2018).
- Programa nacional para el aprovechamiento sustentable de la energía (2014-2018).
- Estrategia de transición para proveer el uso de tecnologías y combustibles más limpios.
- Programa especial de cambio climático (2014-2018).

Los Consejos participativos son:

- Consejo nacional de energía
- Consejo consultivo para el aprovechamiento de las energías renovables
- Consejo consultivo para el aprovechamiento sustentable de la energía

Y los documentos rectores útiles para para las políticas públicas del sector de energía son:

- Plan nacional de desarrollo (2013-2018)
- Programa sectorial de energía (2013-2018)
- Estrategia nacional de energía (2013-2027)
- Estrategia nacional de transición energética y aprovechamiento sustentable de la energía
- Programa nacional de inversiones (2014-2018)

En el marco legal en relación a la Ley de transición energética publicada en el “Diario Oficial de la Federación” el 24 de diciembre de 2015 en la cual se destacan las metas principales en la transición energética, se menciona lo siguiente:

“La Secretaría de Energía fijará como meta una participación mínima de energías limpias en la generación de energía eléctrica del

- 25 por ciento para el año 2018, del
- 30 por ciento para 2021 y del
- 35 por ciento para 2024”,

Es importante resaltar la iniciativa que existe en la ley de transición energética de proyectar los efectos ocasionados por el uso de combustibles no renovables, por ello es necesario utilizar modelos correctos de predicción tecnológica, dentro de este tema se menciona : “Actualizar la línea base de emisiones de bióxido de carbono equivalente de la Industria Eléctrica en su conjunto y proyectar la disminución esperada en las emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero en concordancia con el cumplimiento de las Metas de Energías Limpias y con el cumplimiento de su contribución a las metas establecidas en la Ley General de Cambio Climático “.

Además resaltan en la ley el compromiso siguiente “Publicar anualmente un informe de las emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero y del resto de los contaminantes atmosféricos regulados que tenga cada instalación de generación de energía eléctrica que utilice combustibles fósiles y que tenga una emisión mayor o igual al umbral que derive de la Ley General de Cambio Climático en materia de Registro Nacional de Emisiones”, lo que tendrá un cambio en relación a la regulación de emisiones , en beneficio del planeta. Lo importante de este informe de las emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero es que deberá contener los datos sobre

capacidad y producción de energía de cada instalación, utilizando los instrumentos de medición, registro y verificación contenidos en la Ley General de Cambio Climático”.

De acuerdo con la secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), la Ley de Transición Energética permitirá al país tener una mayor ambición en sus acciones contra el cambio climático, pues la ley incorpora las energías limpias en la matriz energética y con ello reduce las emisiones de gases de efecto invernadero. Cabe destacar que la ley contempla el uso de energías limpias incluyendo la utilización de gas natural, el cual no pertenece al grupo de recursos renovables, por lo que no es imperativo la sustitución de hidrocarburos por energías renovables.

Posterior a la entrada en vigor de la reforma energética el 21 de diciembre de 2013, el 6 de agosto de 2014, el Congreso aprobó el paquete principal de reformas a la legislación secundaria, se menciona a continuación las principales modificaciones a las leyes en materia energética.

Tabla.1. Legislación secundaria aplicable a la reforma energética 2013.

Legislación secundaria aplicable a la reforma energética 2013

Ley de Inversión Extranjera	REFORMADA
Ley de Asociaciones Publicas y Privadas	REFORMADA
Ley Federal de Entidades Paraestatales	REFORMADA
Ley de Adquisiciones, Arrendamientos, y Servicios del Sector Publico	REFORMADA
Ley de Obras Públicas Servicios relacionados con las Mismas	REFORMADA
Ley de Órganos Reguladores Coordinados en materia energética	NUEVA
Ley Orgánica de la Administración Pública Federal	REFORMADA
Ley Federal de Derechos	REFORMADA
Ley de Coordinación Fiscal	REFORMADA
Ley del fondo Mexicano del Petróleo para la Estabilización y el Desarrollo	NUEVA
Ley Federal de Presupuesto y Responsabilidad Hacendaria.	REFORMADA
Ley General de Deuda Publica.	REFORMADA

Sector Hidrocarburos

Ley de Hidrocarburos	NUEVA
Ley Minera	REFORMADA
Ley de la Agencia Nacional de Seguridad Industrial y de Protección al Medio Ambiente del Sector de hidrocarburos	NUEVA
Ley de petróleos mexicanos	NUEVA
Ley de ingresos sobre Hidrocarburos	NUEVA

Sector Eléctrico

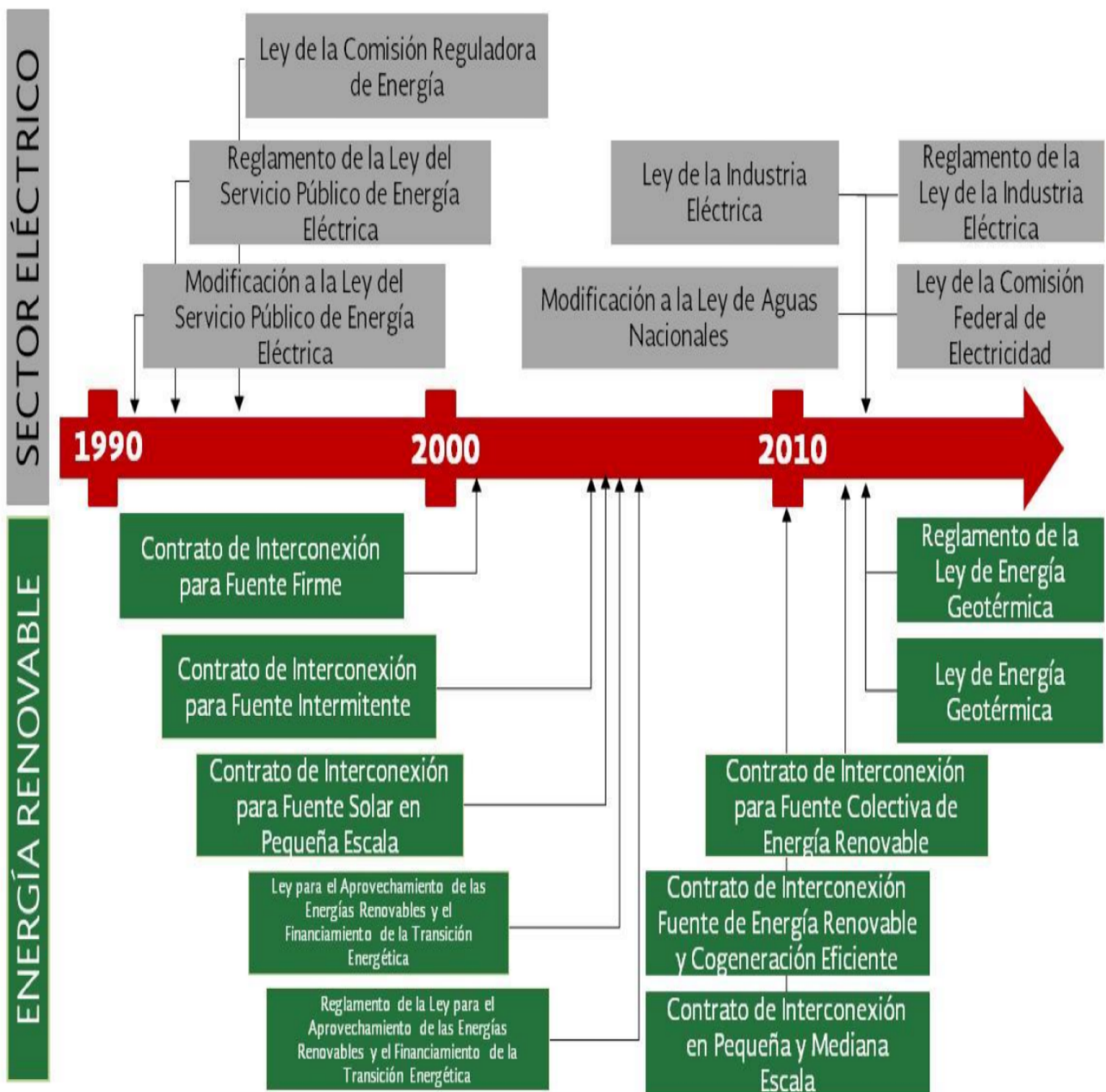
Ley de la Industria Eléctrica	NUEVA
Ley de Energía Geotérmica	NUEVA
Ley de Aguas Nacionales	REFORMADA
Ley de la Comisión Federal de Electricidad	NUEVA

Fuente, Estrategia Nacional de energía 2014-2028. Elaboración propia

Para conocer el contexto del sector eléctrico y energías renovables en México, en el siguiente gráfico se muestra a continuación, la evolución histórica del marco institucional para la implementación de energía renovable, así como el desempeño del sector eléctrico en el ámbito legal.

Para conocer la evolución histórica del marco legal y regulatorio en México, se analizan las modificaciones constitucionales en materia de electricidad, en las cuales actualmente se permite la inversión privada en generación eléctrica y existe un operador intermediario, CENACE quien tiene como tarea, implementar un mercado de electricidad competitivo, además se permitirán las asociaciones con CFE en la transmisión y distribución, quien tendrá autonomía financiera y operativa además de fortalecer a la CRE como organismo regulador.

Fig. 2. Evolución histórica del Marco legal y regulatorio



Fuente SENER.

Dentro de las modificaciones que se han realizado en leyes, en el artículo 25, 27 y 28 constitucional, el marco legal y regulatorio, se resume en el siguiente cuadro las principales acciones.

Tabla 2. Modificaciones en materia de electricidad con la Reforma Energética.

Modificaciones Constitucionales en materia de electricidad.

Modelo Anterior	Reforma
CFE es responsable de la generación de electricidad, de manera directa o a través de terceros.	La generación eléctrica está sujeta a la libre competencia. Se permite la participación de particulares en la generación de electricidad y vender al igual que CFE en el mercado mayorista.
EL CENACE pertenece a la Dirección de Operación de CFE	El CENACE se convierte en un organismo de la Administración Pública Federal
Existen las modalidades de servicio público y auto abasto	Desaparecen las restricciones con las que operan los auto abastecedores, al poder vender a terceros
Operación y construcción de la red de transmisión y distribución de propiedad de CFE	La operación de la red de transmisión y distribución queda reservada al Estado.
CFE es una empresa paraestatal sujeta al presupuesto federal	CFE se convierte en un organismo con características de empresa pública.

Fuente, Estrategia Nacional de energía 2014-2028. Elaboración propia

También es importante destacar la transformación en las diferentes áreas a partir de la Reforma Energética, establecidas en las Estrategia Nacional de Energía 2014 -2018.

En la *tabla 3*, se describen las principales áreas de transformación a partir de la reforma energética en materia de investigación e innovación tecnológica en la relación al uso de hidrocarburos para la generación de energía, entre las principales líneas de transformación, se destaca la exploración y producción de hidrocarburos, donde es de manifiesto el ritmo al cual se acelere la investigación se acelerará también el aprendizaje en cada una de estas áreas, como son las innovaciones en equipos, infraestructura y servicios asociados, de igual manera la investigación en el área de procesamiento, traerá consigo avances considerables en relación la refinación, la petroquímica y sus derivados, a la par la evolución que trae consigo la reforma energética, abre la posibilidad de evolución tecnológica en el transporte, almacenamiento y distribución de hidrocarburos en México.

Las áreas de transformación a partir de la reforma energética en relación a la generación de energía podemos revisarla en la *tabla 4*, donde se destacan principalmente la investigación en relación a la generación eléctrica principalmente por ciclos combinados, energía renovable, energía nuclear, además de fortalecer las áreas de investigación en materia de cobertura eléctrica y desarrollo regional, donde es importante la participación de parques industriales , clusters y polos de desarrollo regional

Tabla 3. Áreas de transformación a partir de la Reforma Energética, Exploración y Producción de hidrocarburos, Procesamiento.

Áreas de Transformación a Partir de la Reforma Energética Investigación e Innovación Tecnología

Exploración y Producción de hidrocarburos	Perforación, Sísmica
Equipos	Válvulas, y Bombeo Ductos, Puertos
Infraestructura Sectorial	Caminos Puentes, etc. Oficinas, Administración
Servicios Asociados	Educación, Hospedaje, etc.
Procesamiento y Refinación	Gasolina, Diésel
Petroquímica	Kerosenos, Turbosinas, etc. Metano Etano Naftas
Derivados	Amoniacos, Etileno, Metanol, Propiléno, Tolueno, etc.
Transporte	Ductos, carrotanques, ferrocarril, buques Administradoras Portuarias Terminales
Almacenamiento	Centros Tanques Subterráneo
Distribución	Ductos, Ruedas, Cilindros Gasolineras, Puertos
Protección Ambiental y Uso de Agua	

Fuente, Estrategia Nacional de energía 2014-2028. Elaboración propia

Tabla 4. Áreas de transformación a partir de la Reforma Energética, Generación Eléctrica, Cobertura Eléctrica y Desarrollo Regional.

Áreas de Transformación a Partir de la Reforma Energética Investigación e Innovación Tecnológica

Generación Eléctrica	
Ciclos Combinados	Gas, Diésel
Renovables	Hidroeléctrica, Eólicas, Solar, Biomasa, Geotermia.
Nuclear	Ampliación Nuevas Instalaciones
Tecnologías Alternas	Re bombeo y almacenamiento Captura, uso y almacenamiento de CO2
Cobertura Eléctrica	
Transmisión	Equipo, vías, infraestructura
Baja y media tensión	Redes Inteligentes Generación Distribuida
Administración	Comercio, Centros, Balanceo de cargas.
Desarrollo Regional	
Infraestructura de apoyo	Parques Industriales Educación, Capacitación Finanzas, mercadeo Predial, derechos Clúster Polos de desarrollo
Protección Ambiental y Uso de Agua	

Fuente, Estrategia Nacional de energía 2014-2028 Elaboración propia

Objetivo

El objetivo de este estudio es realizar una investigación, crítica y constructiva para conocer y analizar el desarrollo de la energía renovable en México, por medio de una metodología cuantitativa que utiliza modelos de predicción tecnológica como lo son las curvas de aprendizaje, a fin de explicar las tendencias que experimenta el desarrollo de este sector, y poder prevenir y resolver problemas económicos, ambientales, tecnológicos y sociales, y así poder involucrar a las tecnologías con mejor tasa de aprendizaje a nuevos procesos de innovación en la generación de energía eléctrica por fuentes renovables.

Esta investigación tiene como fin, proponer, de acuerdo con los avances de la ciencia, la tecnología y las innovaciones, nuevas estrategias, que determinen una transformación positiva para enfrentar con mejor perspectiva los desafíos locales, regionales, nacionales e internacionales y con ello mejorar el desempeño económico en México en el ámbito de generación de electricidad por fuentes de energía renovable.

Preguntas de investigación.

Para comenzar este estudio partimos de las siguientes preguntas de investigación.

- ¿Cuál es el comportamiento de la generación de energía eléctrica en el México y el mundo?
- ¿Cuál es el potencial energético renovable en México y el mundo?
- ¿Que propuestas se han realizado recientemente a partir de investigaciones predictivas con curvas de aprendizaje en materia de energía?
- ¿Qué tecnología de generación de energía eléctrica, por fuentes renovables, tiene mayor penetración en el mercado en el periodo de 2004 a 2015?
- ¿Cuales han sido las barreras microeconómicas para proyectos de energía renovable en México?
- ¿Qué tecnologías habrá que desarrollar para cubrir la demanda de bienes y servicios energéticos por fuentes de energía renovable?

Hipótesis

Las cooperaciones entre sociedades y alianzas estratégicas son clave para un desempeño en la implementación de nuevas tecnologías y proyectos de energía renovable; por ello, un análisis de los índices energéticos actuales y una revisión adecuada de las tendencias nacionales, permitirán ofrecer a esta investigación, alternativas que permita desarrollar herramientas para determinar propuestas en la implementación de mecanismos energéticos que funcionen con energéticos amigables al ambiente.

Siguiendo adecuadamente una metodología cuantitativa para distinguir la tecnología renovable más adecuada para su implementación en México, se propone utilizar una técnica prospectiva denominada “curvas de aprendizaje”, con la cual podremos encontrar las respuestas con relación a la disminución de tiempo cada vez que se aumenta la producción de las distintas alternativas de generación de energía eléctrica por medio de fuentes de energía renovable. Es decir; cuanto mayor sea la experiencia acumulada, menor será el tiempo de generación eléctrica renovable, con respecto a periodos anteriores.

CAPITULO 1. MARCO TEORICO Y METODOLOGÍA.

El análisis del desarrollo de la tecnología empleada para la generación de energía por fuentes renovables, se puede observar y analizar desde varios enfoques económicos, revisaremos brevemente desde las diferentes perspectivas histórico-económicas y posteriormente se realiza una discusión directamente con los autores que han publicado recientemente en relación al tema de curvas de experiencia en la evolución de las distintas fuentes de energía.

1.1 Sociedad del conocimiento, perspectivas económicas

En las disciplinas en las cuales se manifieste la evolución de la inteligencia, es posible reconocer la acumulación del conocimiento, sin embargo, su alcance es incierto, en el libro “Enfoques y características de la sociedad del conocimiento. Evolución y perspectivas para México”, 2005, los autores nos refieren al conocimiento como una evolución entre los diferentes actores, nuevas funciones y nuevos papeles, por ello la incertidumbre que existe entre la magnitud de cada una de las combinaciones de elementos, dificulta la claridad en la toma de decisiones. En la búsqueda de un mejor panorama de análisis se adopta en la literatura el concepto de “sociedad del conocimiento” donde se resalta particularmente el aporte que existe en presencia del conocimiento, como es el acortamiento del ciclo (de producción) y el aumento en la diversidad de relaciones de conocimiento (L. Corona, J. Jasso, 2005).

Refiriéndose en el mismo sentido de esta investigación, los autores destacan la escasez del conocimiento como una cuestión cognitiva resultado de rutinas o del trabajo de las rutinas enfocadas en áreas científicas y de innovación, además subrayan la importancia que marca el capital humano como un importante medio de producción, y reconoce que en gran medida el crecimiento en los países es consecuencia del aprendizaje adquirido.

De esta manera es importante tomar en cuenta los siete aspectos centrales que se sintetizan para una sociedad del conocimiento:

- Conocimiento, saber e información
- La innovación como actividad del conocimiento.
- El aprendizaje como medio de acumulación y difusión (del conocimiento).
- Diversidad regional y sectorial y acceso a las tecnologías
- Redes Alianzas y fusiones entre actores sociales.
- Organización Empresarial Flexible.
- Riesgo y financiamiento de la innovación.

Desde una perspectiva de la escuela económica clásica, se distinguen algunos elementos teóricos del pensamiento económico principalmente de Adam Smith y de David Ricardo, que están relacionados con el aprovechamiento de las fuerzas de trabajo, el uso de maquinaria y la aplicación de la ciencia en la producción, (Innovación ante la sociedad del conocimiento, CORONA L. 2010, pp. 320), sin embargo, los clásicos, contemplaban la centralización de maquinaria en torno a una fuente de energía, en la actualidad se busca una estrategia para eliminar esta limitante ofreciendo alternativas para que la generación de energía pueda desplazarse al sitio donde sea más conveniente para su consumo.

La economía clásica fue desplazada en gran parte por escuela marginalista, la cual deriva su concepto de valor a partir de la utilidad marginal que los consumidores encuentran en un bien, en lugar del costo de los gastos envueltos en producirlo. Sin embargo, algunas de las percepciones clásicas fueron incorporadas en la escuela neoclásica, que comenzó en el Reino Unido a partir del trabajo de Alfred Marshall.

A partir de un enfoque neoclásico, es posible concebir a la energía como un recurso el cual se busca optimizar su asignación, en el libro “Teoría de la innovación Tecnológica” (LEONEL CORONA), en el Capítulo 3, llamado “Teoría Económica Neoclásica del cambio técnico” se describe la teoría

microeconómica partiendo de la explicación del cambio tecnológico que ocurre en procesos y productos, haciendo énfasis en la diferencia que existe en dichos cambios ya que pueden caracterizarse por considerarse radicales o incrementares y sus resultados perceptibles en el corto o largo plazo, tomando en cuenta las posibilidades que ofrece la función de producción y el progreso tecnológico.

Todos los modelos van cambiando los supuestos, en el enfoque estructuralista se observa la búsqueda de políticas de protección y fomento industrial, que eliminen la posibilidad de un mercado cautivo y busca fomentar en los empresarios mayor competitividad y una mejora en su productividad.

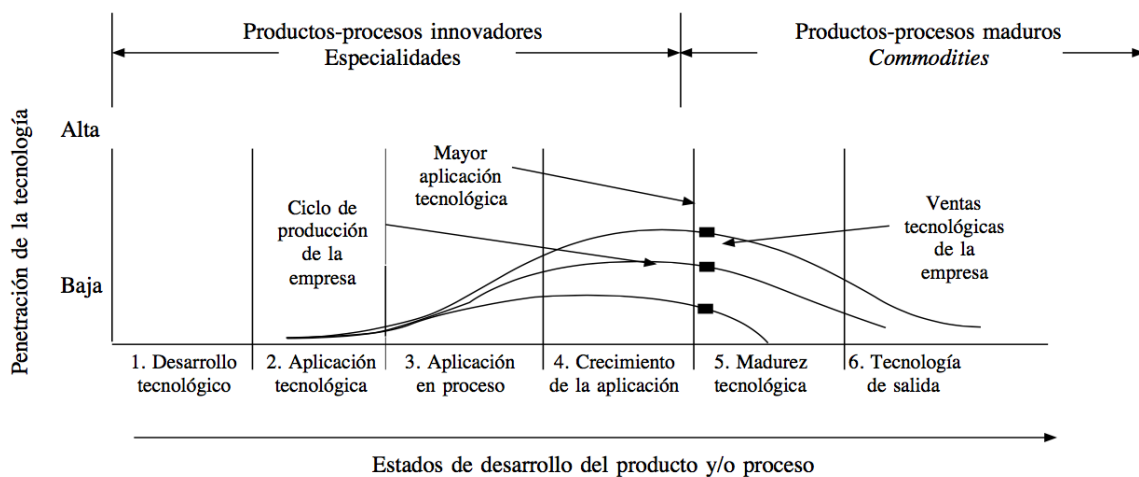
La teoría económica institucionalista se relaciona con la evolución de las tecnologías de generación de energía eléctrica, en virtud de fomentar la creación de empresas en nuevas ramas productivas que sustituyan las actividades internas en este caso de generación y distribución de energía.

La perspectiva institucional y la teoría de la innovación comparte la preocupación económica en resolver las necesidades circunstanciales de la sociedad fomentando el vínculo institucional entre los agentes tecnológicos.

Por ello, la fuente principal del cambio tecnológico a largo plazo se considera “el aprendizaje de los individuos, de las empresas y de las organizaciones” ya que el proceso de aprendizaje acumulativo de los seres humanos, es desarrollado a través del tiempo y transmitido por sus creencias culturales de generación en generación y es la forma en la cual se han configurado y desarrollado las instituciones. Para Keith Pavit, un pionero en nuevos métodos para medir la innovación y el cambio técnico, la innovación está determinada por la especialización de los proveedores, lo cual indica la influencia que existe en la acumulación del aprendizaje.

En la siguiente figura se observa el ciclo de vida para una medición de la madurez tecnológica en una industria de procesamiento, en el artículo “La madurez tecnológica en la industria petroquímica mundial” mencionan que “ a medida que los productos (producción) avanzan en su ciclo de vida, su tendencia al crecimiento es menor, debido a la entrada de nuevos competidores imitadores que tienden a saturar la oportunidad tecnológica esto provoca la creciente madurez tecnológica y hace que éstos se estandaricen y pasen a ser commodities” .

Fig. 2 bis. Innovación y madurez: ciclo de vida tecnológico.



Fuente. J. Jasso. La madurez tecnológica en la industria petroquímica mundial

1.2 Metodología

Para realizar esta investigación se consultaron los siguientes artículos relacionados al progreso tecnológico a partir de las curvas de aprendizaje, y el impacto de las diferentes tecnologías de generación de energía, y su penetración en el mercado, con ello se evidencia su impacto en la sociedad y es tomado como referencia teórica para evaluar el desarrollo y tendencias de la energía renovable en México.

Tabla 5. Artículos Consultados. Curvas de aprendizaje.

Autor	Título	Editorial	Publicación
Farmer J. Doyne y Francois Lafond	How predictable is technological progress?	Elsevier / Science Direct	2016 ENERO
Alan Mc Donald	Tasa de aprendizaje de tecnologías de energía	Elsevier / Energy Policy	2001 MARZO
Jamasb Tooraj	Cambio técnico teoría y curvas de aprendizaje: modelos de progreso en tecnologías Generación Eléctrica	The Energy Journal, Vol. 28, No. 3. IAEE.	2007
Marchetti	Modelo de sustitución de energía primaria. En la interacción entre la energía y la sociedad	Previsión tecnológica y Cambio Social	1977
Björn Nykvis y Måns Nilsson	La rápida caída de los costos de los paquetes de baterías para vehículos eléctricos	Nature, Climate Change	2015 MARZO
Kramer Gert Jan y Martin Haigh	No hay cambio rápido de la energía baja en carbono	Nature	2009 DICIEMBRE
J. Tilindisa, V. Kleiza	Learning curve parameter estimation beyond traditional statistics	Elsevier / Science Direct	2017 ENERO
Levente Malyusza, Attila Pema	Predicting future performance by learning curves	Elsevier / Energy Policy	2014 JULIO
E. Martínez a, F. Sanz, S. Pellegrini a, E. Jiménez c, J. Blanco	Life cycle assessment of a multi-megawatt wind turbine	Elsevier / Science Direct	2008 JULIO

Fuente. Elaboración propia

En la literatura actual se ha discutido en favor del progreso tecnológico como el principal motor de crecimiento y dependiente en gran medida de la innovación, por ello los métodos de predicción tecnológica y de mejora tecnológica son de gran utilidad.

Existen coincidencias en el análisis de los diferentes autores ya que destacan el valor que ofrecen las previsiones y la predicción de la tasa de mejora tecnológica que permite una adecuada planificación e inversión, sin embargo; reafirman sus limitantes, cuando la incertidumbre es grande, mencionan que no es recomendable acreditarlas en su totalidad.

Al hacer previsiones del progreso tecnológico, se puede estimar la probabilidad de la penetración en el mercado de diferentes tecnologías renovables y convertirse en una tecnología competidora en el futuro. (J. Doyne Farmer and Francois Lafond ,2015), por ello la necesidad de mantener actualizadas las curvas de aprendizaje para las diferentes tecnologías de generación eléctrica limpia.

Un ejemplo de aplicación con resultados favorables es la historia de Gordon Moore, (Farmer y Lafond, 2015), cofundador de Intel, quien predijo que el número de transistores en circuitos integrados se duplicaría cada dos años, a una tasa anual del 40%. Hacer transistores más pequeños trajo consigo otros beneficios, que permitieron tener una tasa de crecimiento de esa velocidad, como fue el menor consumo de energía, mayor velocidad en la producción y la disminución de los costos de fabricación lo que provocó una disminución de costos por cada unidad de cómputo.

A Gordon More, también se le adjudica uno de los modelos matemáticos más utilizados en ejercicios de predicción tecnológica, es la “Ley de Moore” la cual menciona la forma en la cual los costos tienden a caer de manera exponencial, a diferentes velocidades y dependen de la tecnología.

Doyme Farmer y Francois Lafond (2015), mencionan “la relación que existe entre el costo y la producción acumulada sugerido originalmente por Wright (1936) quien comenta que para cualquier operación que se repita, el tiempo necesario para la operación disminuirá en una fracción fija conforme se duplique el número de repeticiones”, es decir; a medida que se acumula experiencia en la producción de un producto o servicio existe la oportunidad de reducir tiempo y costos, cuanto más produce una empresa, más aprende a producir de forma eficiente. En el artículo Farmer cita a Nagy, (2013), quien probó que la Ley de Moore y de las leyes de Wright se encuentran empatadas en el primer lugar en cuanto a su pronóstico de desempeño.

Tooraj Jamasb, 2007 consideraba que las curvas de aprendizaje se utilizaban para estimar el cambio técnico como resultado de las actividades innovadoras mencionaba que el cambio técnico se representa a través del efecto del aprendizaje y generalmente derivado de las curvas de aprendizaje donde el progreso se mide típicamente en términos de reducción de costos unitarios o precios de un producto en función de la experiencia obtenida, de aumento de capacidad o producción acumulada.

En el caso del análisis de las curvas de aprendizaje de las diferentes alternativas de generación eléctrica por fuentes renovables, es necesario utilizar un parámetro adicional al tiempo, distinto al que se ha utilizado en los estudios actuales ya que la variable que domina el análisis en los estudios previos, son los costos y la capacidad instalada, las curvas de aprendizaje definen el costo o precio de una tecnología como una función de potencia de una fuente de aprendizaje en forma acumulativa, como la capacidad instalada, la producción o el trabajo. Los precios obedecen a muchos factores, además de los costos, y por esa razón son inferiores a los costos como medidas de aprendizaje y el progreso tecnológico.

En una formulación alternativa, utilizado por Argote (1999), menciona que la experiencia se deprecia con el tiempo, es decir; la experiencia obtenida de las unidades construidas resultados del año pasado se refleja en mayores reducciones de costos actuales que en la experiencia de hace 10 años, por tanto, los resultados de esta formulación son el mismo fenómeno de las tasas de aprendizaje, (A. McDonald and L. Schrattenholzer, 2001).

Por otra parte, las tasas de aprendizaje estimados pueden variar en función del período de tiempo durante el cual se midieron, (Claeson Colpier y Cornland, 2002). Por lo tanto, no hay una tasa de aprendizaje absoluta o única para una tecnología determinada (Tooraj Jamasb 2007), por ello es de gran relevancia mantener actualizados los estudios y el comportamiento de la tasa de aprendizaje de las diferentes tecnologías de generación de energía eléctrica por fuentes renovables en México.

El este estudio de las curvas de aprendizaje para las tecnologías de generación energética, el análisis de cinco diferentes alternativas de producción eléctrica, permite comparar y poner a nuestras predicciones de distribución por medio de curvas de aprendizaje a cada solución para generar energía, con el fin de garantizar que tan fiables es su implementación ya que al combinar los datos de distintas tecnologías en un solo análisis, permite comprobar de forma sistemática el método en los datos y hacer previsiones de distribución de una sola tecnología y tener confianza en los resultados. (J. Doyme Farmer and Francois Lafond ,2015).

Tasas estimadas de aprendizaje relacionadas con la energía						
Tecnología	Región	Periodo	Estimación de Curva de Aprendizaje	Medida de rendimiento (Variable dependiente)	Medida de experiencia (Variable Independiente)	Fuente
Turbinas de Gas	Mundo	1958-1963	22.00	Inversión, costo [\$/kW]	Capacidad Acumulada [MW]	MacGregor et al. (1991)
	Mundo	1963-1980	9.90	Inversión, costo [\$/kW]	Capacidad Acumulada [MW]	MacGregor et al. (1991)
	Mundo	1958-1980	13.00	Inversión, costo [\$/kW]	Capacidad Acumulada [MW]	Nakich enovich et al. (1998);
Turbina de Gás Ciclo Combinado	OECD	1984-1994	34.00	Inversión, costo [\$/kW]	Capacidad Acumulada [MW]	Kouvaritakis et al. (2000)
	Mundo	1991-1997	26.00	Inversión, precio, [\$/kW]	Capacidad Acumulada [MW]	Claeson (1999)
Carbo eléctricas	OECD	1975-1993	7.60	Inversión, costo [\$/kW]	Capacidad Acumulada [MW]	Kouvaritakis et al. (2000)
Centrales Nucleares Centrales Hidroeléctricas	OECD	1975-1993	5.80	Inversión, costo [\$/kW]	Capacidad Acumulada [MW]	Kouvaritakis et al. (2000)
	OECD	1975-1993	1.40	Inversión, costo [\$/kW]	Capacidad Acumulada [MW]	Kouvaritakis et al. (2000)
Centrales Eólicas	OECD	1981-1995	17.00	Inversión, costo [\$/kW]	Capacidad Acumulada [MW]	Kouvaritakis et al. (2000)
Centrales Eólicas (generación)	California	1980-1994	18.00	Producción, costo [\$/kWh]	Producción Acumulada [TWh]	CEC (1997); Loiter and Norberg-Bohm (1999)
Turbinas de Viento	Dinamarca	1982-1997	8.00	Inversión, precio, [\$/kW]	Capacidad Acumulada [MW]	Neij (1999)
	Alemania	1990-1998	8.00	Inversión, precio, [\$/kW]	Capacidad Acumulada [MW]	Durstewitz (1999)
Módulos Solares Fotovoltaicos	Mundo	1968-1998	20.00	Inversión, precio, [\$/Wpeak]	Capacidad Acumulada [MW]	Harmon (2000)
Paneles Solares Fotovoltaicos	US	1959-1974	22.00	Precio de venta, [\$/Wpeak]	Capacidad Acumulada [MW]	Maycock and Wake"eld (1975)
Etanol	Brasil	1979-1998	20.00	Precio de venta, [\$/boe]	Producción Acumulada [metros cubicos]	Goldemberg (1996)

Alan Mc Donald y Leo Schratthenholzer, en su artículo "Learning rates for energy technologies", (2001), estimaron las tasas de aprendizaje para evaluar el rendimiento en modelos de energía a largo plazo y mencionan que, el aprendizaje tecnológico, provoca la reducción de costos a medida que los fabricantes de tecnología acumulan experiencia, así como las interrupciones en la producción puede provocar que se pierda la experiencia y los costos unitarios aumenten, es decir, también es posible que el fenómeno del olvido y pérdida de la experiencia acumulada existan.

Tabla. 6. (A. McDonald y Schratthenholzer, 2001)

Reporte de Tasas de aprendizaje relacionadas con la energía

Tecnología	Región	Periodo	Estimación de Curva de Aprendizaje	Medida de rendimiento (Variable dependiente)	Medida de experiencia (Variable Independiente)	Fuente
Producción de electricidad	US	1926-1970	25%	Precio de venta, [\$/kWh]	Producción Acumulada [kWh]	Fisher (1974)
Solar Fotovoltaica	EU	1985-1995	35%	Costo de producción [ECU/kWh]	Producción Acumulada [TWh]	IEA (2000)
Energía Eólica	US	1985-1994	32%	Costo de producción [\$/kWh]	Producción Acumulada [TWh]	IEA (2000)
	EU	1980-1995	18%	Costo de producción [\$/kWh]	Producción Acumulada [TWh]	IEA (2000)
	Alemania	1990-1998	8%	Inversión, precio, [\$/kW]	Capacidad Acumulada [MW]	IEA (2000)
	Dinamarca	1982-1995	4%	Inversión, precio, [\$/kW]	Capacidad Acumulada [MW]	IEA (2000)
Electricidad por Biomasa	EU	1980-1995	15%	Costo de producción [\$/kWh]	Producción Acumulada [TWh]	IEA (2000)
Módulos Solares Fotovoltaicos	Mundo	1976-1992	18%	Precio de venta, [\$/Wpeak]	Ventas acumuladas [MW]	IEA (2000)
	EU	1976-1996	21%	Precio de venta, [\$/Wpeak]	Ventas acumuladas [MW]	IEA (2000)

Tabla. 7 (A. McDonald and L. Schratzenholzer, 2001)

En el artículo “Learning curve parameter estimation beyond traditional statistics” publicado en 2017 por Tilindis y V. Kleiza, se refiere a las curvas de aprendizaje como una técnica que se utiliza para modelar el desarrollo de las capacidades humanas, comentan en el artículo que inicialmente, las curvas de aprendizaje se utilizaron en la producción en masa para predecir la mejora del rendimiento. En dicho artículo ofrecen una colección de modelos matemáticos que se han utilizado para estimar las curvas de aprendizaje a partir diferente número de parámetros.

Tabla 8. Modelos de estimación de curvas de aprendizaje

Modelo	Expresión matemática	Numero de parámetros
Wright's	$y_W(x) = \beta x^{-\alpha_W}$	2
Crawford's	$y_C(x) = \beta x^{-\alpha_C}$	2
Plateau	$y_P(x) = \beta x^{-\alpha_P} + \gamma$	3
Stanford-B	$y_B(x) = \beta(x + B)^{-\alpha_B}$	3
Dejong's	$y_D(x) = \beta(M + (1 - M)x^{-\alpha_D})$	3
S-Curve	$y_S(x) = \beta(M + (1 - M)(x + B)^{-\alpha_S})$	4
Dual phase	$y_{CM}(x) = \chi \beta x^{-\alpha_C} + (1 - \chi) \beta x^{-\alpha_M}$	5
2-parameter hyperbolic	$y(x) = k \left(\frac{x}{x+r} \right)$	2
3-parameter hyperbolic	$y(x) = k \left(\frac{x+p}{x+p+r} \right)$	3
Exponential	$y_e(x) = \beta_e e^{-\alpha_e x}$	2
Exponential with breaking point	$y(t) = \begin{cases} \frac{\delta}{\lambda^\delta} e^{-\left(\frac{t}{\lambda}\right)^{\delta-1} t^{\delta-1}}, & t < t_0 \\ \frac{\delta}{\lambda^\delta} e^{-\left(\frac{t_0}{\lambda}\right)^{\delta-1} t_0^{\delta-1}}, & t \geq t_0 \end{cases}$	3

Fuente. Elsevier. Predicting future performance by learning curves. Levente Malyusza, Attila.

En el análisis del comportamiento de las curvas de aprendizaje en el sector energético renovable en México, se utiliza el modelo “Wright’s” debido a que puede proporcionar un punto de referencia contra el cual otros enfoques pueden ser medidos.

Para calcular la curva de aprendizaje de cada una de las tecnologías de generación de energía por fuentes renovables, se va a utilizar un programa incluido de la paquetería de Microsoft Excel, llamada “Curvas de Aprendizaje”, donde a partir de datos proporcionados como de generación de energía, en un tiempo determinado, podemos conocer cual tecnología renovable tiene un mejor desempeño en su implementación de acuerdo a su tasa de aprendizaje.

Doyne Farmer y Francois Lafond, destacan la importancia que existe en el futuro para formular métodos similares para la previsión de producción, para que podamos evaluar mejor la fiabilidad de tales pronósticos, por ello la importancia de mantener vigentes los estudios del comportamiento de la evolución de las tecnologías de generación eléctrica por fuentes renovables, a través del análisis de las curvas de aprendizaje, el cual revela de manera indirecta la experiencia acumulada que adquiere cada una de las tecnologías seleccionadas en este estudio.

Estos artículos construyen una base empírica para conocer las tasas de aprendizaje de las diferentes tecnologías de conversión de energía, obtenida a partir de la acumulación de experiencia y reducciones de costos para una serie de tecnologías energéticas.

1.2.1 Estimación de la curva de aprendizaje.

Asignado el tiempo en el cual se realizó un ciclo de producción y la generación de electricidad en dicho periodo por cada una de las fuentes de energía renovable, es posible obtener los coeficientes de la función exponencial y el porcentaje de aprendizaje cuando se aumenta la producción energética.

La curva de aprendizaje desciende y muestra el comportamiento de los costos unitarios y como disminuyen en función de la experiencia acumulada, es importante resaltar que los productos que se encuentran en una categoría madura no es sencillo lograr importantes reducciones en los costos debido a que los costos descienden más lentamente que la experiencia acumulada.

La curva de aprendizaje se expresa regularmente en términos de porcentajes.

- Un porcentaje bajo en la curva de aprendizaje significa que el tiempo en el desarrollo de capacidades energéticas por fuentes renovables descienden más rápidamente.
- Un porcentaje más alto de la curva de aprendizaje implica que el tiempo en el desarrollo de capacidades energéticas por fuentes renovables descienden más lentamente.

1.2.2 Modelo matemático.

Para la estimación de la curva de aprendizaje, partimos de la definición de curva de aprendizaje como la relación entre el tiempo de producción por unidad y el número de unidades de producción consecutivas.

Los supuestos con los cuales partiremos para determinar el comportamiento son los siguientes:

- El tiempo es menor a medida que se realizan más unidades o ciclos.
- La tasa de disminución del tiempo es cada vez menor.
- El modelo sigue una función previsible.

El cálculo se desarrolla a partir de la función exponencial:

$$t_n = kn^r \quad (1)$$

Donde:

t_n : Tiempo de ejecución de un ciclo o una unidad

k : Tiempo de la ejecución de la primera unidad

n : Numero de ciclos o unidades producidas

r : Exponente negativo que representa la pendiente

A partir de la función (1) es posible calcular la tasa de aprendizaje cuando se dobla la producción en el ciclo que quiera estimar.

$$\frac{p = k (2n)^r}{kn^r}$$

Y el porcentaje o la tasa de aprendizaje está dado por:

$$p = 2^r \quad (2)$$

por tanto:

$$\begin{aligned} t_1 &= k \\ t_2 &= kp \\ t_4 &= kp^2 \\ t_8 &= kp^3, \text{ etc.} \end{aligned}$$

Transformando la función potencial lineal (1) en logaritmos:

$$\log(t) = \log(k) + r \log(n) \quad (3)$$

de manera inversa, a partir del porcentaje o tasa de aprendizaje (2) se puede obtener la pendiente,

$$r = \log(p) / \log(2) \quad (4)$$

y la función t_n , será:

$$t_n = kn^{\log(p) / \log(2)} \quad (5)$$

CAPITULO 2. CONTEXTO DE LAS FUENTES DE GENERACIÓN DE ENERGÍA 2004-2015.

2.1 Contexto y Evolución Internacional del sector de generación de energía.

En este apartado se analiza la situación actual y el contexto de las principales tendencias de generación de energía eléctrica en el mundo, así como su evolución, a partir de tecnologías no renovables y posteriormente el comportamiento de la industria de generación de energía eléctrica en el mundo por fuentes limpias y renovables.

2.1.1 Tecnologías no Renovables en el Mundo.

Existen compromisos climáticos por parte de los representantes en el gobierno de cada país del mundo, sin embargo, el escenario indica que los combustibles fósiles, en particular el gas natural y el petróleo, seguirán siendo la base del sistema energético mundial, según mencionan en el reporte emitido por la agencia internacional de energía en su edición 2016 en donde destacan que la industria de los combustibles fósiles no debe ignorar los riesgos que tiene una transición energética.

A partir de la reforma energética se presupone un mercado más competitivo en el sector energético ya que en la actualidad se encuentran las relaciones entre proveedores y clientes en el área de hidrocarburos determinadamente sólidas y condicionan la evolución del sector energético en general. Con el fin de tener un panorama claro, a continuación, se describen brevemente el comportamiento y su funcionamiento para de la generación eléctrica por fuentes no renovables más utilizadas a nivel mundial.

La necesidad energética a nivel mundial cada vez va en aumento, lo que obliga a la humanidad tomar medidas importantes en el uso responsable y efectivo de energéticos, en la actualidad la principal fuente de abastecimiento está a cargo de las tecnologías no renovables entre ellas: La termoeléctrica convencional, centrales térmicas de ciclo combinado, carboeléctricas, lecho fluidizado, turbogas, combustión Interna.

2.1.1.1 Termoeléctrica Convencional.

Las centrales termoeléctricas convencionales al rededor del mundo, juegan un papel preponderante en la participación de energía eléctrica, sin embargo; es imperativo para el gobierno, la sociedad y las empresas, adaptarse a los requerimientos ambientales que el mundo requiere para cumplir con las metas establecidas de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

Alrededor del mundo existen centrales eléctricas convencionales que tienen una gran capacidad térmica de generación eléctrica entre ellas.

- | | | |
|--|-------------|------------|
| • Central térmica de Surgutskaya | 5.597 [MW]. | Rusia |
| • Central térmica de Futtsu. | 5.040 [MW]. | Japón |
| • Central térmica de Kawagoe. | 4.802 [MW]. | Japón |
| • Central térmica de Higashi Niigata. | 4.600 [MW]. | Japón |
| • Central térmica de Dah-Tarn o Tatan. | 4.384 [MW]. | Taiwán |
| • Central térmica de Chiba. | 4.338 [MW]. | Japón |
| • Central térmica de Chita. | 3.996 [MW]. | Japón |
| • Central térmica de Kostromskaya. | 3.600 [MW]. | Rusia |
| • Central de Sodegaura. | 3.600 [MW]. | Japón |
| • Central de Syrdarya. | 3.000 [MW]. | Uzbekistán |

El país con más participación en centrales térmicas convencionales es Japón el cual cuenta con 6 de las plantas con mayor capacidad instalada para generar electricidad por medio de combustibles fósiles a través de centrales termoeléctricas.

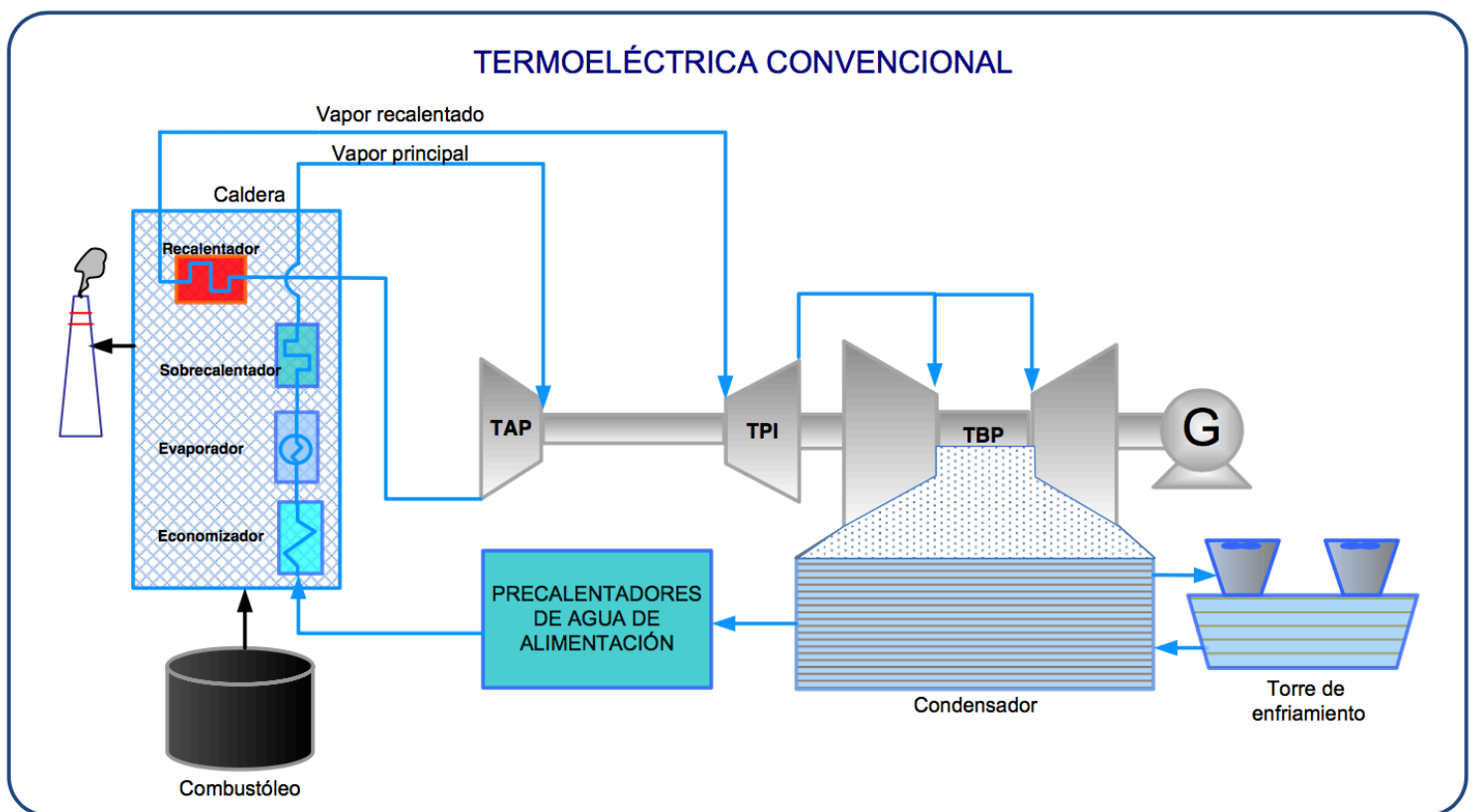
Configuración de centrales termoeléctricas convencionales

Las centrales termoeléctricas tienen como objetivo de funcionamiento, la generación de energía a partir de los combustibles fósiles, como carbón, gas natural, etc. En el proceso de generación de energía se realiza en un ciclo termodinámico donde el agua se transforma en vapor para producir el movimiento en una turbina de vapor que posteriormente producirá electricidad.

Una Central térmica convencional cuenta principalmente con los siguientes componentes.

- Caldera
- Turbina de Vapor
- Generador
- Condensador
- Torre de enfriamiento

Fig. 3. Diagrama de Centrales termoeléctricas convencionales



Fuente. Álvarez René y Flores Joel. *Conversión de Central Termoeléctrica de Combustóleo a Carbón*

2.1.1.2 Carboeléctricas.

En un análisis de minería de datos, a partir de la revisión de los artículos publicados en materia de energía, McNerney en 2011, muestra un análisis de la electricidad producida con carbón, en el cual estudia los costos en sus componentes y analiza las tendencias.

De este modo se muestra que mientras que los costos de las plantas de carbón cayeron históricamente, esta tendencia se invirtió alrededor de 1980 y aunque la reciente la tendencia se invierte nuevamente, si el costo de construcción de plantas cae drásticamente en el futuro, y si el costo del carbón disminuyera, sería el escenario en el cual puede dominar finalmente el costo de la generación del total de la electricidad producida con carbón. La generación de la electricidad con carbón requiere la construcción de nuevas plantas. (J. Doyne Farmer and Francois Lafond ,2015).

Por otro lado, al revisar los datos en el informe anual de energía elaborado por la agencia internacional de energía, encabeza la lista de combustibles para la generación de electricidad, el carbón, el cual representa la principal fuente de generación de electricidad en el mundo, principalmente para EUA y China, sin que exista evidencia de alguna tendencia que modifique la ruta en la demanda mundial de este combustible. Aunado al efecto que trae consigo la transición energética, China, registró un descenso de casi 15% en su demanda de carbón durante 2016, sin embargo; China se encuentra en la búsqueda de un nuevo equilibrio del mercado.

La tendencia que fija este país está dirigida a aplicar una serie de medidas para recortar la capacidad extractiva, un paso que ha dado lugar ya a un aumento de los precios del carbón en 2016. En un escenario distinto, China podría aflojar el ritmo de los cortes de suministro, incrementando así sus posibilidades de convertirse en exportador de carbón para deshacerse del excedente de producción: esto prolongaría el desplome del mercado internacional.

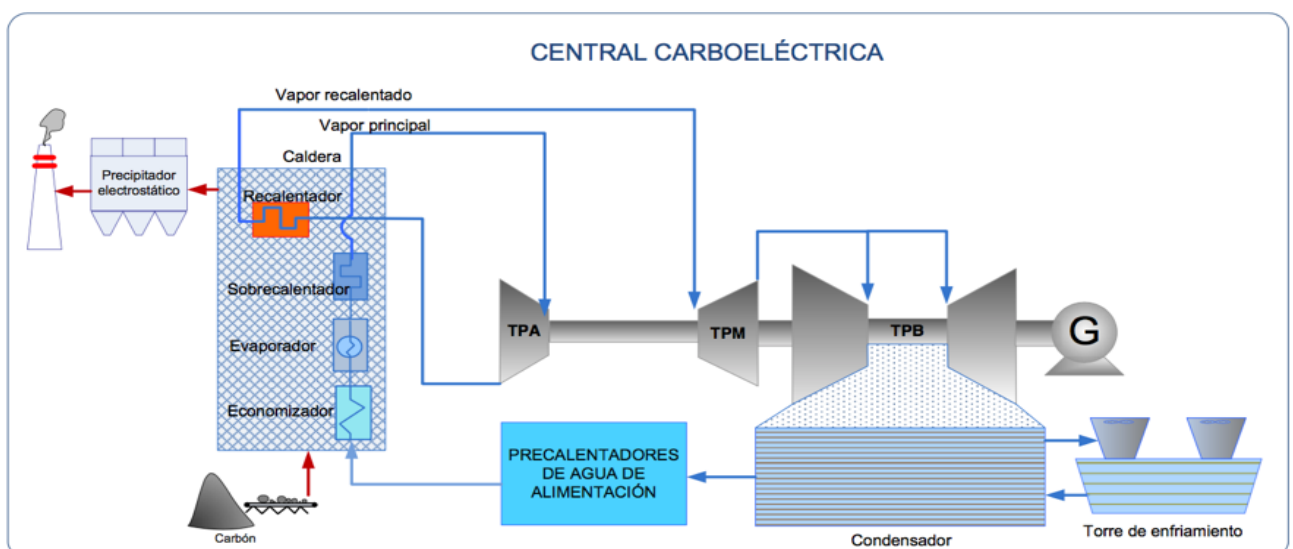
Las plantas típicas de carbón tienen eficiencias del orden de 1/3 sin embargo no existen estudios útiles para hacer la quema de carbón más eficiente, incluso Doyne Farmer y Francois Lafond, 2015 mencionan que en un escenario especulativo, si se lograra una mejora de la eficiencia a 2/3 del límite teórico es solamente una mejora correspondiente al avance promedio de módulos fotovoltaicos en unos 7,5 años, los autores utilizan el mismo argumento para describir el comportamiento del petróleo y gas.

Algunas economías de altos ingresos, a menudo con necesidades energéticas generales estabilizadas o en descenso, están avanzando considerablemente en la tarea de reemplazar el carbón por alternativas de emisiones más bajas de CO₂. Junto con medidas destinadas a aumentar la eficiencia de las centrales de carbón y reducir las emisiones de contaminantes, el futuro del carbón a largo plazo está cada vez más ligado a la disponibilidad comercial de la captura y almacenamiento de CO₂ ya que solamente el uso de carbón “con mitigación” es compatible con una reducción profunda de las emisiones de CO₂. (World Energy Outlook, AIE, 2016).

La Agencia Internacional de Energía destaca la importancia de la captura y el almacenamiento de CO₂, y como se convierte en una estrategia de protección importante principalmente para los países exportadores, ya que pueden tomar medidas para reducir las vulnerabilidades, limitando su dependencia de los ingresos procedentes de los combustibles fósiles, (World Energy Outlook, AIE, 2016)

El principio de funcionamiento de las carboeléctricas es similar al de las termoeléctricas a diferencia de las mayores dimensiones del generador de vapor

Fig.4. Diagrama de Central Carboeléctrica

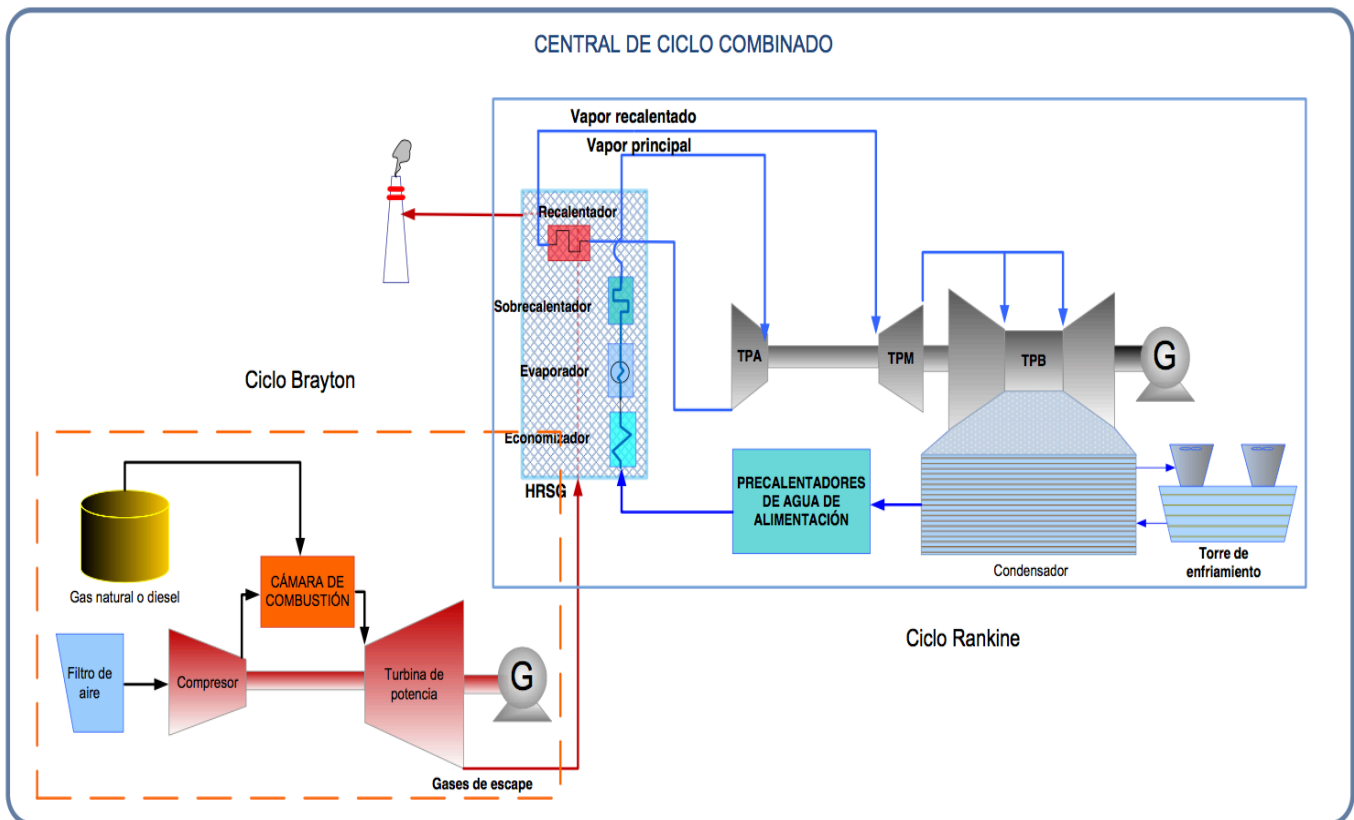


Fuente. Álvarez René y Flores Joel. Conversión de Central Termoeléctrica de Combustóleo a Carbón

2.1.1.3 Centrales térmicas de ciclo combinado

Una central de ciclo combinado es una planta que produce energía eléctrica con un generador accionado por una turbina de combustión, que utiliza como combustible principal gas natural. Los gases de escape de la combustión son aprovechados para calentar agua en una caldera de recuperación que produce vapor aprovechable para accionar una segunda turbina.

Fig. 5. Diagrama de Centrales térmicas de ciclo combinado



Fuente. Álvarez René y Flores Joel. *Conversión de Central Termoeléctrica de Combustóleo a Carbón*

Ventajas de la utilización de turbinas de gas y plantas de ciclo combinado:

1. Disponibilidad del gas natural.
2. Uso de otros combustibles, Gas natural, gasóleo, GLP, carbón gasificado, etc.
3. Elevados rendimientos.
4. Alta disponibilidad de estas centrales,
5. Menores emisiones de CO₂ por [kWh] producido, respecto a una central convencional.
6. Menores requerimientos de refrigeración respecto a una central convencional de igual potencia.
7. Corto plazo de construcción.
8. Menor cantidad de recursos humanos para su mantenimiento y control

De aquí surge la importancia de los ciclos combinados en el contexto de una política de ahorro y uso eficiente de la energía, ya que a nivel mundial la eficiencia promedio en el caso de plantas de generación tradicionales que utilicen combustibles fósiles es de 35-37%, mientras que en las de ciclo combinado se alcanzan eficiencias de poco más del 50%.

2.1.2 Tecnologías Limpias en el Mundo.

En la actualidad surge la necesidad a nivel industrial, comercial y doméstico de encontrar alternativas de abastecimiento energético, que se adapten a los requerimientos tecnológicos y brinden una posibilidad de ser integrales con el ambiente. Por ello se describe el contexto actual y la situación referente al uso de energías limpias en el ámbito internacional.

2.1.2.1 Cogeneración.

El Dr. Juan Carlos Campos, en su estudio de cogeneración, realizado en la universidad autónoma de occidente explica el funcionamiento de un sistema de cogeneración industrial, el cual se basa en el funcionamiento de una turbina de gas como motor principal y el gas natural como combustible.

En la segunda etapa del proceso, los gases de escape provenientes de la turbina de gas se aprovechan en una caldera de recuperación, para ajustar la producción de calor útil a la demanda del proceso industrial.

Debido a esta ventaja la central cogeneradora produce simultáneamente energía eléctrica y calor en proporciones variables, el calor se recupera en agua caliente o en el vapor generalmente para proceso o calefacción. El vapor puede ir directamente de la caldera, al usuario o a una turbina de vapor donde se expande para aumentar la cantidad de electricidad generada.

El término cogeneración está definido en general como la generación simultánea y combinada de calor y energía eléctrica, en un verdadero, en un sistema de cogeneración, una porción importante del calor generado o recuperado debe ser destinado a procesos térmicos.

La ventaja de la cogeneración es su mayor eficiencia energética ya que se aprovecha tanto el calor como la energía mecánica o eléctrica de un único proceso, en vez de utilizar una central eléctrica convencional y para las necesidades de calor en una caldera convencional.

Tabla 9. Sistemas de cogeneración

SISTEMAS	CAPACIDAD UNITARIA (kW)	RÉGIMEN TÉRMICO (Btu/kWh)	EFICIENCIA ELÉCTRICA (%)	EFICIENCIA TÉRMICA (%)	EFICIENCIA TOTAL (%)	TEMP. ESCAPE (°F)	GENERACIÓN DE VAPOR lb/h (125 Psig)
Gas Comb. Interna (pequeña)	1-500	10,000 a 25,000	14-34	52	66-86	600-1200	0-200 ¹
Gas Comb. Interna (grande)	500-17,000	9,500 a 13,000	26-36	52	78-88	600-1200	100-10,000 ¹
Máquina Diesel	100-1,000	11,000 a 15,000	23-31	44	67-75	700-1500	100-400 ¹
Turbina de Gas Industrial	800-10,000	11,000 a 14,000	24-31	50	74-81	800-1000	3000 a 30,000
Turbina de Gas CTE	10,000-150,000	9,000 a 13,000	26-31	50	76-81	700	30,000 a 300,000
Ciclos de Vapor	5,000-100,000	10,000 a 30,000	7-34	28	35-62	350-1000	10,000 a 100,000

Fuente. Universidad autónoma de occidente, cogeneración.

2.1.2.2 Energía Nuclear

Hay expertos que consideran que la energía nuclear no es limpia, ya que los desechos son depositados en minas y potencialmente puede causar contaminación y consecuencias graves para la fauna, el agua y el ecosistema.

Doyne Farmer y Francois Lafond, 2015, explican la tendencia positiva que existe en la evolución e implementación de proyectos que involucran la energía nuclear y la electricidad fotovoltaica solar, siendo, las dos nuevas tecnologías que surgieron más o menos al mismo tiempo. Como dato histórico nos comentan que la primera planta de energía nuclear comercial abrió sus puertas en 1956 y el primer uso práctico de la energía fotovoltaica solar, era como una fuente de alimentación para el satélite Vanguard I en 1958.

Un dato importante es con relación al costo de la electricidad generada por la energía nuclear ya que es muy variable, pero en general ha aumentado, por el contrario, un Watt de energía solar fotovoltaica tenía un costo de \$ 256 en 1956 (Perlin, 1999) vs. \$ 0,82 en 2013, cayendo el precio por un factor de alrededor de \$ 2,330. A partir de 1980 módulos fotovoltaicos han disminuido en costo a una tasa promedio alrededor del 10% por año". (J. Doyne Farmer and Francois Lafond, 2015). Los costos históricos de la energía nuclear han tendido a aumentar, no sólo en los Estados Unidos, sino en todo el mundo.

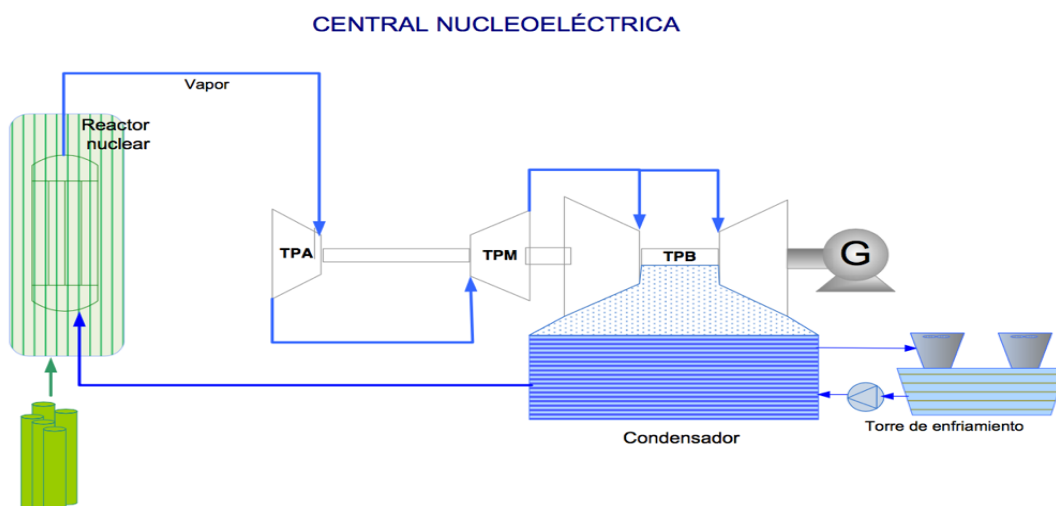
En el ámbito internacional, debido al cambio climático, muchos países han elegido incrementar el uso de la energía nuclear, ya que durante la generación de electricidad no hay producción de CO₂.

En este sentido, en 35 países del mundo se localizan 648 centrales nucleares destinadas a la generación de energía eléctrica, de las cuales 444 se encuentran actualmente en operación.

La energía nuclear es aquella que se genera como consecuencia de llevar a cabo una fisión nuclear, que consiste en la división del núcleo de un átomo o, a través de la fusión nuclear, que, al contrario de la fisión, genera energía como resultado de unir dos átomos para convertirse en uno nuevo.

Las centrales nucleoelectricas tienen semejanza con las termoeléctricas convencionales, excepto en la forma de generar el calor que convierte el agua en vapor, pues en el caso de los reactores nucleares, el calor se obtiene a través de las reacciones físicas de fisión o de fusión nuclear de los átomos del uranio U235, los átomos involucrados sufren la pérdida de una pequeña parte de su masa, misma que se convierte en una gran cantidad de energía calorífica para mover los turbogeneradores.

Fig. 6. Configuración básica de una planta de generación nucleoelectrica.



Fuente. Álvarez René y Flores Joel. Conversión de Central Termoeléctrica de Combustóleo a Carbón

2.1.3 Tecnologías Renovables en el Mundo.

En 2015 el rumbo a una transición energética mundial se puso de manifiesto, debido a que fue un año exitoso en el área de la energía renovable a causa de la incorporación de la mayor capacidad instalada anual para la generación de electricidad a nivel mundial, añadiéndose 147 [GW] de capacidad de energía renovable, sin embargo, la disminución en los precios de los combustibles fósiles, limita el desarrollo de las tecnologías renovables, de acuerdo a los datos del reporte de la situación mundial de energías renovables, 2016. REN 21.

Los índices energéticos muestran la tendencia de los países en el sector eléctrico, y como está dirigido e impulsado por el cuidado del ambiente, por ello la comunidad mundial acordó durante la Conferencia de las Partes (COP21) en París una serie de medidas que buscan mitigar los efectos del cambio climático provocado por la emisión de CO₂ al ambiente, con ello 195 países se comprometieron a limitar el calentamiento global por debajo de los 2 grados centígrados además, algunos países se comprometieron a reformar sus subsidios a los combustibles fósiles.

En la cumbre se mencionó que México ocupa el doceavo lugar en la lista global de emisiones por país con el 1.4% de emisiones globales de CO₂. Los objetivos principales revisados en la cumbre fueron:

- Limitar el calentamiento global a menos de 2 grados y lo más cercano a 1.5
- Aumentar la capacidad de los países de adaptarse a los efectos del cambio climático.
- Promover la transición hacia economías bajas en carbono y hacia el desarrollo sostenible.

México cuenta con un marco normativo legal e institucional, en el cual los documentos rectores son:

- Ley General de Cambio climático
- Estrategia nacional de cambio climático
- Programa especial de cambio climático 2014-2018.

En 2017 las Naciones Unidas, la Unión Europea y China anunciaron defenderán, pese a la retirada de EE.UU.

En la actualidad, la energía renovable, ha tenido un rápido crecimiento en el sector eléctrico debido a diferentes factores, entre ellos.

- Creación de iniciativas de política sustentables;
- Acceso al financiamiento;
- Seguridad energética;
- Aumento en la demanda de energía en economías en desarrollo y emergentes;
- Generación distribuida.

Para un desarrollo más efectivo de las energías renovables, es importante:

- Integrar los avances en la participación de la generación de energía renovable,
- Reglamentaciones adecuadas
- Mayor estabilidad política,
- Eliminar las barreras normativas
- Eliminar las restricciones fiscales.

El reporte de la situación mundial de energías renovables, documenta el sexto año consecutivo, en el cual las energías renovables sobrepasaron a los combustibles fósiles en inversiones netas para adiciones de capacidad de energía impulsando la baja en el costo por unidad de energía eólica y fotovoltaica principalmente.

Los avances tecnológicos que se desprenden de la evolución de la energía renovable en el mundo, tienen las siguientes características:

- Aumentar la eficiencia energética
- Incremento en la utilización de las tecnologías de redes inteligentes
- Avances significativos en hardware y software para la integración de las energías renovables
- Progresos en el desarrollo de almacenamiento de energía y comercialización.

Las industrias de generación de energía por fuentes renovables, han permitido que el empleo aumente en 2015 de acuerdo a los datos del reporte de la situación mundial energías renovables 2016. REN 21, aumentando a un 5% en el sector de la energía renovable, elevándose a 8.1 millones de puestos de trabajo principalmente la solar fotovoltaica y los biocombustibles ofrecieron el mayor número de empleos en energía renovables.

La electricidad generada con la energía hidráulica, la geotérmica y biomasa se han mostrado altamente competitivas ante la energía fósil en circunstancias favorables (es decir, con buenos recursos y un marco legislativo seguro).

La energía eólica terrestre y la solar fotovoltaica son también competitivas en términos económicos, en comparación con las energías fósiles y su nueva capacidad de generación, incluso sin tomar en cuenta factores externos.

La distribución de la generación renovable a pequeña escala ha despegado, o comienza a hacerlo. Bangladesh es el mayor mercado del mundo para sistemas solares domésticos, mientras que otros países en desarrollo (por ejemplo, Kenia, Uganda y Tanzania, en África; China, India y Nepal en Asia; Brasil y Guyana en América Latina) están experimentando una rápida expansión de sistemas renovables a pequeña escala, incluyendo mini-redes de energía renovable, y así poder abastecer de electricidad a las personas que viven alejadas de la red.

Los resultados del análisis de los reportes emitidos por REN 21, reflejan el avance que ha surgido a finales de 2015, en las cual 110 jurisdicciones a nivel nacional, estatal o provincial, se han promulgado políticas de medición neta de electricidad, convirtiéndolo en el mecanismo de regulación más utilizado para promover la energía renovable.

Del mismo modo, 52 países adoptaron políticas de medición y facturación neta, incluyendo cuatro nuevas políticas adoptadas a nivel nacional y cinco a nivel estatal o provincial.

Las políticas fiscales, incluyendo las donaciones, préstamos e incentivos, continuaron siendo herramientas de suma importancia para promover el despliegue de nuevos proyectos y el desarrollo próspero de tecnologías de energías renovables.

El crecimiento de las emisiones de CO₂ relacionadas con la energía se estancó completamente en 2015. Esto se debió en su mayor parte a una mejora del 1.8% de la intensidad energética de la economía mundial, una tendencia reforzada por los beneficios derivados de la eficiencia energética, así como por el uso generalizado de fuentes de energía más limpias, esencialmente renovables, en todo el mundo.

De acuerdo a los datos obtenidos en el informe anual de la situación mundial de las energías renovables (GSR por sus siglas en ingles), destaca el papel que China y Estados Unidos han tomado al frente de las energías renovables, por ello se han posicionado como los líderes en el sector a nivel mundial, mientras que Brasil es el representante en América Latina y México destaca en la generación de electricidad por geotermia en el mundo.

El crecimiento con respecto a los productores independientes ha ido en aumento principalmente en los países desarrollados de los cuales, Australia y Japón tienen ventaja.

Las regiones que tienen mayor participación para producir su propia electricidad son:

- Europa,
- América del Norte,

En 2014 la generación de electricidad en el mundo tuvo el siguiente comportamiento:

Tabla. 10. Generación anual de electricidad en el mundo por región. 2015.

Generación Anual de Energía Eléctrica		23 ,536.5 [TW h]
Región	Participación	
Asia-Pacífico	42.8%,	
Europa y Euro asia	22.30%	
América del Norte	28.1%.	

Fuente: Reporte de la situación mundial energías renovables 2016. REN 21. Elaboración propia

China encabeza la generación de electricidad alrededor del mundo, con 24 % de participación en el reporte de 2016, de REN 21, y la tendencia apunta a que continuara tomando el primer lugar ya que Estados Unidos quien es el país que es segundo lugar en generación con 18 % no limita su desarrollo en tecnologías renovables, pero se encuentra por debajo del ritmo de crecimiento en capacidad instalada en los últimos años.

Tabla. 11. Generación anual de electricidad en el mundo por país. 2015.

Por países	Participación
China	24%
Estados Unidos	18.30%
India	5.10%
Rusia	4.50%
Japón	4.50%

Fuente: Reporte de la situación mundial energías renovables 2016. REN 21. Elaboración propia.

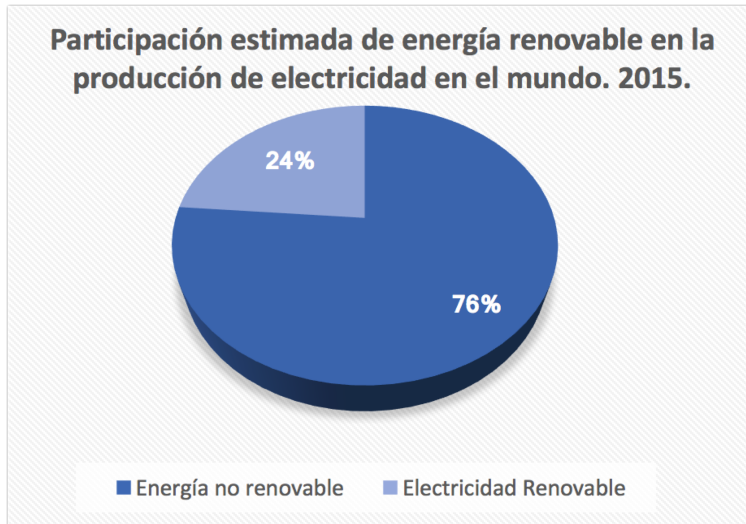
En 2015 las participaciones de energías renovables aun no alcanzan el 25 % pero se abren paso al desafío de aumentar el porcentaje para lograr ser una industria sustentable con los menores índices de daño al ambiente.

Tabla 12. Participación de energía Renovable en la producción de electricidad en el mundo. 2015.

Participación Estimada de Energía Renovable en la Producción de Electricidad en el Mundo. 2015.	
Tecnología	Porcentaje %
Energía no renovable	76.3
Electricidad Renovable	23.7

Fuente: Reporte de la situación mundial energías renovables 2016. REN 21. Elaboración propia

Fig. 7. Participación de energía Renovable en la producción de electricidad en el mundo. 2015.



Fuente: Reporte de la situación mundial energías renovables 2016. REN 21. Elaboración propia

La suma real de los datos nos da un total de 23.9 % de participación de las energías renovables a diferencia del dato que ofrecen en REN 21 de 23.7 % con .2 % de diferencia entre los mismos datos que manejan en las publicaciones.

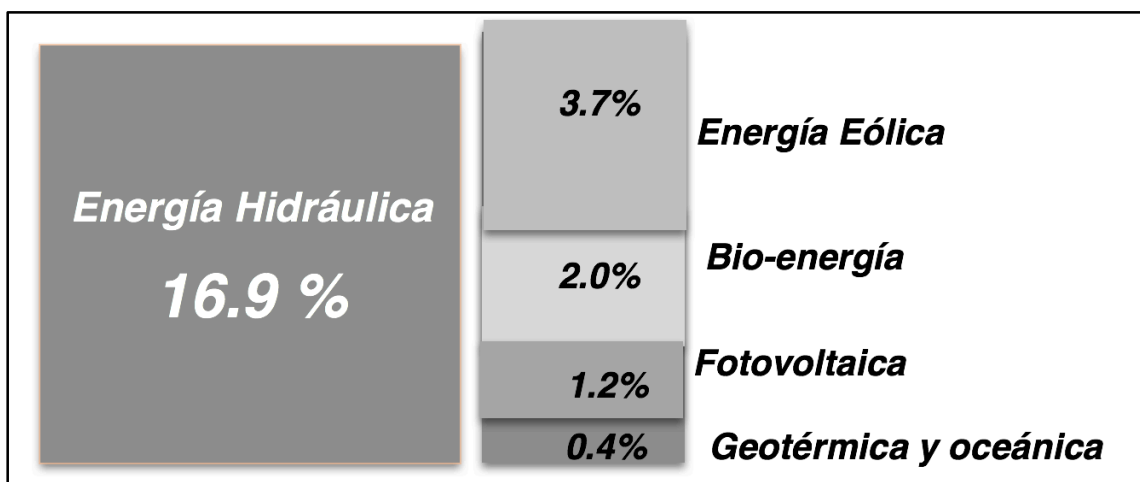
Tabla. 13. Participación anual de la participación de la energía renovable en el mundo 2015.

Tecnología	Porcentaje %
Hidroeléctrica	16.6
Eólica	3.7
Geotérmica y oceanica	0.4
Bioenergía	2
Fotovoltaica	1.2
Total	23.9%

Fuente: Reporte de la situación mundial energías renovables 2016. REN 21. Elaboración propia

La capacidad de generación de electricidad por fuentes renovables tiene la siguiente distribución que podemos representar gráficamente de la siguiente manera.

Fig. 8. Generación de energía renovable en la producción de electricidad en el mundo. 2015



Fuente: Reporte de la situación mundial energías renovables 2016. REN 21. Elaboración propia

2.1.3.1 Energía Geotérmica en el mundo

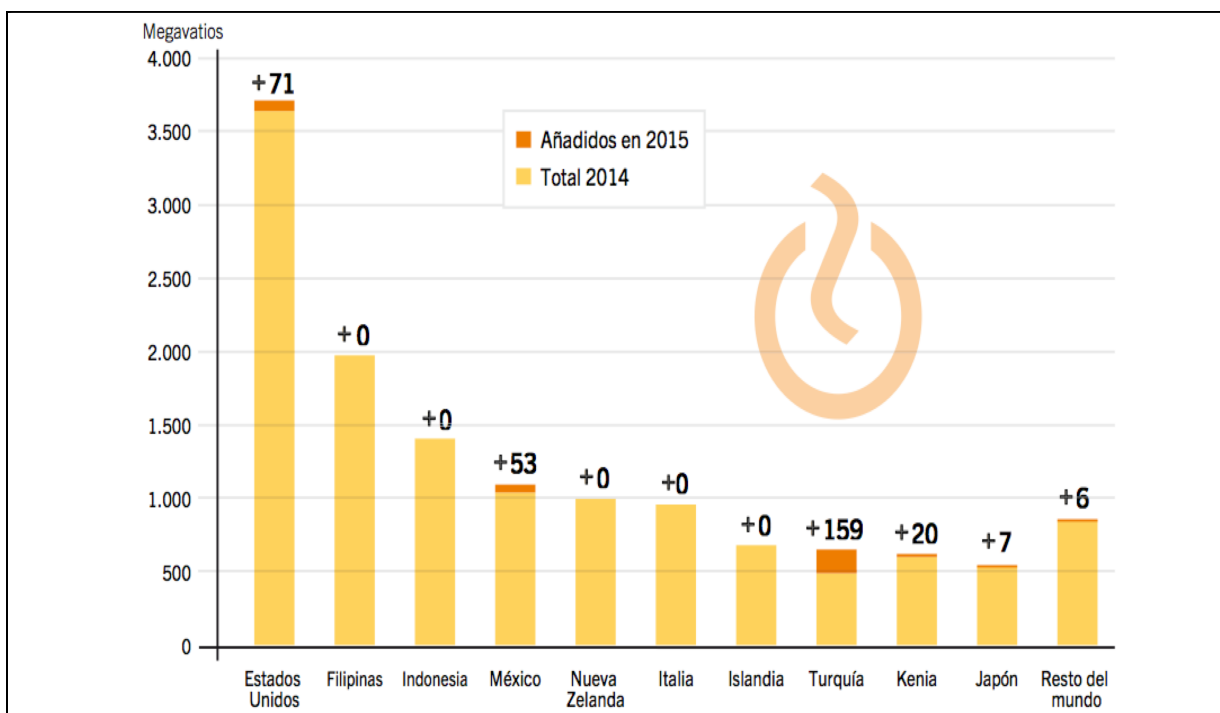
La obtención de energía a través de la tierra es otra fuente de energía renovable, ya que con el calor interno que emerge de ella, permite el aprovechamiento del calor, de acuerdo a la temperatura, los yacimientos geotérmicos se clasifican en

- Media entalpia
- Baja entalpia
- Alta entalpia.

El calor del subsuelo que fluye desde el interior de la tierra, es la energía conocida como geotérmica o geotermia. Esta energía térmica comúnmente se manifiesta en forma de agua caliente o vapor y está asociada a volcanes, aguas termales, fumarolas, lodos hirvientes y géiseres.

El desarrollo de la energía geotérmica en el mundo ha tenido un crecimiento estable, pero obstaculizado por los bajos costos de los combustibles fósiles y el alto riesgo de desarrollo es una fuente de energía inagotable y tiene la ventaja en relación a la seguridad ya que no existe riesgo de explosión en su manejo debido a que no contiene gases

Fig. 9. Capacidad y Adiciones de energía Geotérmica en el mundo



Fuente: Reporte de la situación mundial energías renovables 2016. REN 21. Elaboración propia

En la gráfica es posible observar la nueva capacidad de energía geotérmica que entró en funcionamiento en el 2015 alrededor de 315 [MW], elevando el total mundial a 13.2 [GW]. Durante un año la energía geotérmica genera alrededor de 75 [TWh]. En la figura 11 se destaca la participación tan importante que tuvo Turquía quien lideró el mercado, en relación a la capacidad añadida a nivel mundial.

Los datos obtenidos del Reporte de Energías renovables 2016 mencionan como el uso directo de la energía geotérmica aumentó a 272 [PJ] de energía térmica durante el 2015. La tasa anual de crecimiento promedio en el consumo de calor geotérmico de uso directo ha sido un poco más del 3% en los últimos años. El potencial hidroeléctrico se estima en 53,000 [MW], y aproximadamente 40,000 [MW] de potencial geotérmico para usos eléctricos y térmicos.

2.1.3.2 Energía Hidráulica en el Mundo.

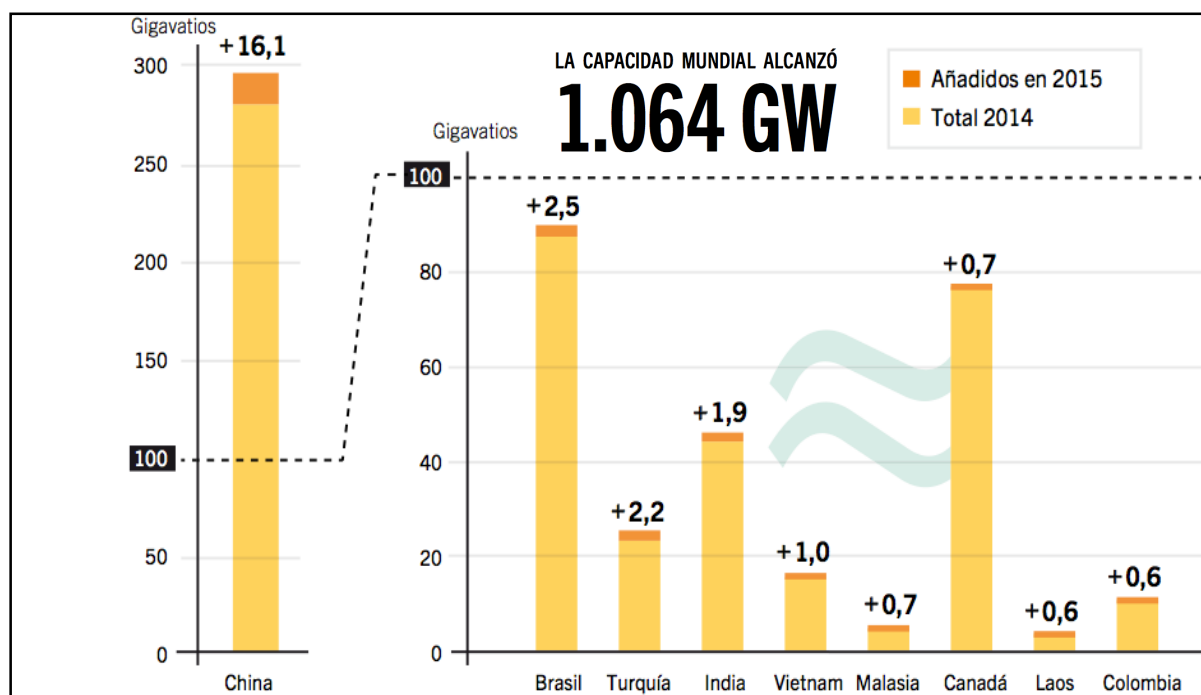
La energía hidráulica es la fuente más antigua del mundo de generación de energía por recursos que no son de combustibles fósiles (Marchetti, 1977), algunos países han sido capaces de construir sistemas de energía completos sobre la base de hidrológica como Noruega y Brasil.

China ha estado expandiendo su sistema de energía a un ritmo muy acelerado, basada principalmente en el carbón, y en su fuente de alimentación de combustible no fósil directo ha sido hidroeléctrica. Las tendencias que proyecta el Gobierno de China apuntan a aumentar a 350 [GW] en 2020. (Agora Moorthy, 2015).

En China la presa Tres gargantas es considerada la más grande en relación a su tamaño y capacidad instalada con una potencia de 22.5 [GW], y en relación a la generación eléctrica y a la producción acumulada la más grande es la represa de Itaipú, la cual se encuentra entre Paraguay y Brasil en el río Paraná, con 103.098.366 [MWh] producidos en el 2016 y 2.4 mil millones[MW]

China continuó como el país líder a nivel mundial por un amplio margen, con 16.1 [GW] añadidos en 2015. De igual modo, una capacidad considerable se añadió en Brasil, Turquía, India, Vietnam, Malasia, Canadá, Colombia y Laos.

Fig. 10. Capacidad y Adición de Energía Hidroeléctrica en el mundo 2015.



Fuente: Reporte de la situación mundial energías renovables 2016.REN 21

Como se puede observar China es el gigante en energía hidroeléctrica, cuya producción es mayor a todos los países juntos de América Latina.

En el Reporte de energía limpia 2015 informan que aumentó la nueva capacidad de energía hidráulica en 28 [GW] aproximadamente aumentando la capacidad instalada mundial a 1.064 [GW].

Se calcula que la producción mundial aumentó al menos 1% con respecto al 2014, es decir, alrededor de 3.920 TWh. Las constantes sequías continuaron afectando de manera negativa a la producción de energía hidroeléctrica en muchas regiones, incluyendo América y el sureste de Asia.

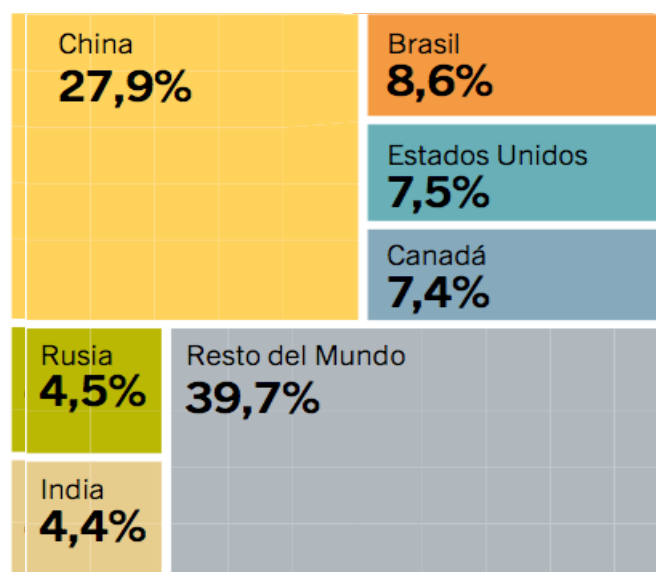
Tabla. 14. Principales centrales hidroeléctricas en el mundo

Nombre	País	Río	Capacidad total [MW]	Producción anual máxima [TWh]
Las Tres Gargantas	China	Río Yangtsé	22 5001	80,8
Represa de Itaipú	Brasil Paraguay	Río Paraná	14 000	98,6
Simón Bolívar	Venezuela	Río Caroni	10 200	46.00
Presa de Tucuruí	Brasil	Río Tocantins	8,370	41.00
Presa Grand Coulee	Estados Unidos	Río Columbia	6,809	20.00
Presa de Longtan	China	Río Hongshui	6,426	18.7
Sayano–Shúshenskaya	Rusia	Río Yeniséi	6,400	26.8
Krasnoyarsk	Rusia	Río Yeniséi	6,000	Sin Dato
Presa de Nuozhadu	China	Río Nanpanjiang	5,850	Sin Dato
Robert-Bourassa	Canadá	Río La Grande	5,616	20.40
Churchill Falls	Canadá	Río Churchill	5,429	35.00

Fuente: Global Energy Network.

El riesgo climático y la creciente participación de generación de energías renovables diversas impulsaron una adaptación mayor en la industria de la energía hidroeléctrica. La modernización, reequipamiento y ampliación de las instalaciones existentes se extendieron en diversos mercados para mejorar la eficiencia, la flexibilidad y la resistencia del sistema. La industria responde al riesgo climático y la creciente participación de energías renovables

Fig. 11. Capacidad Hidroeléctrica en el mundo 2015. Seis países líderes



Fuente: Reporte de la situación mundial energías renovables 2016.REN 21.

2.1.3.3 Bioenergía en el mundo

Un tipo de energía renovable es la bioenergía, la cual se obtiene a partir de materiales o desechos orgánicos, es decir de la biomasa, el mayor porcentaje de bioenergía procede de la madera, seguida por los aceites vegetales o agro combustibles que también se están expandiendo rápidamente

- Cultivos y plantaciones dedicados,
- Residuos sólidos urbanos,
 - Forestales,
 - Agrícolas,
 - Pecuarios.
- El uso de leña y carbón.
- Bagazo de caña como combustible.
- Estiércol
- Biomasa microbiana

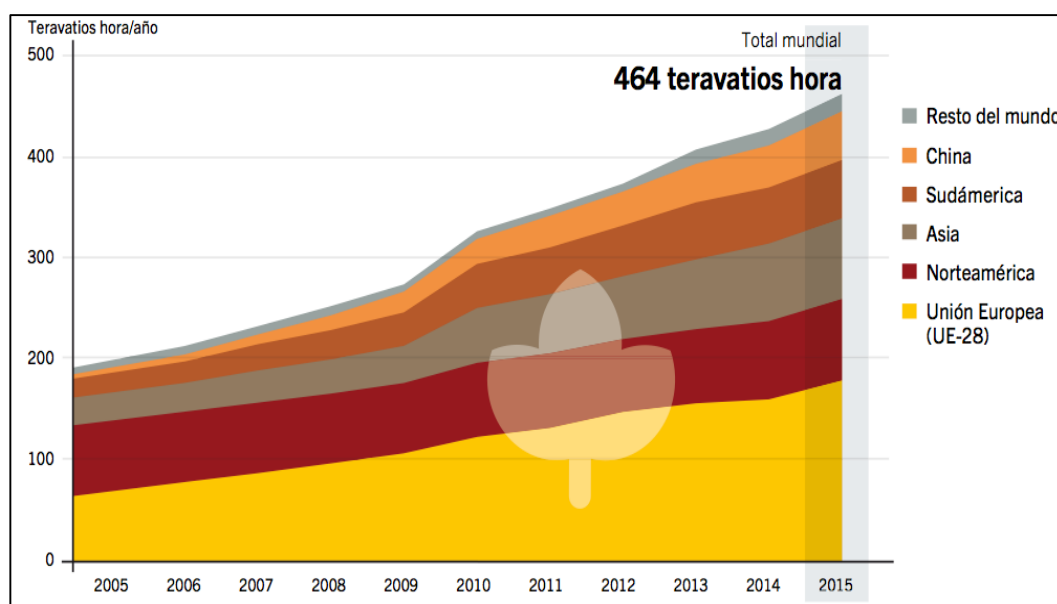
Se define la biomasa como la “fracción biodegradable de los productos, desechos y residuos de origen biológico procedentes de la agricultura, de la silvicultura y de las industrias conexas, incluidas la pesca y la acuicultura, así como la fracción biodegradable de los residuos industriales y municipales.”

Según los datos del reporte anual de energía renovable (REN 21, 2016), los índices de producción energética a partir de bioenergía, indican que ha continuado creciendo durante el 2015, Sin embargo, es importante destacar las barreras y limitantes que el sector se ha enfrentado, principalmente la competencia frente a los bajos precios del petróleo y a la incertidumbre política.

El aprovechamiento de la biomasa es liderado por dos países latinoamericanos: Chile y Brasil, seguidos por España y Japón. El uso de bioenergía ha prosperado con mayor rapidez a un promedio anual de 8% aproximadamente con un crecimiento acelerado. Las regiones con mayor participación en la producción de bioenergía en el mundo, destacan los siguientes países.

- China
- Japón,
- Alemania
- Reino Unido.

Fig.12. Generación de bioenergía en el mundo



Fuente: Reporte de la situación mundial energías renovables 2016.REN 21

Las regiones y los países desarrollados, incluyendo Australia, Europa, Japón y América del Norte, han experimentado un crecimiento significativo con respecto a la cantidad de consumidores residenciales e industriales que producen su propia electricidad.

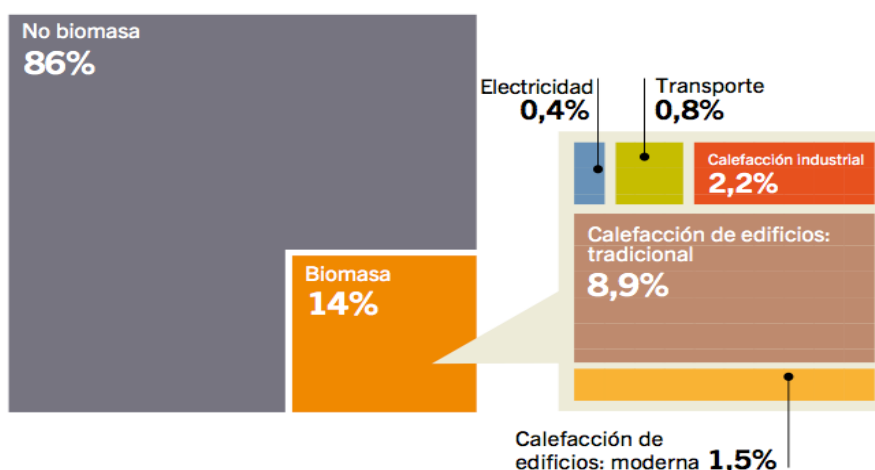
Tabla.15. Generación mediante fuentes bioenergéticas en el Mundo.

País/ Región	% del Total
Chile	7.11%
Brasil	6.06%
Alemania	5.40%
Japón	3.03%
Canadá	1.67%
España	1.55%
Estados Unidos	1.43%
México	0.85%
China	0.66%
Corea	0.21%
OCDE Total	2.25%
Mundo	1.64%

Fuente: IEA ,2013

Es importante resaltar la evolución que ha surgido en la producción de biocalor útil para la calefacción de edificios y el aprovechamiento térmico para usos industriales. El reporte de energías renovable REN 21 menciona que la producción ha aumentado un 3% en el uso de biocalor en comparación a los niveles alcanzados en el 2014.

Fig. 13. Participación de la Biomasa en el consumo total de energía.



Fuente: Reporte de la situación mundial energías renovables 2016.REN 21.

De acuerdo a los datos del Fondo de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), “algunos países pobres obtienen el 90% de su energía de la leña y otros biocombustibles, además resalta la amplia participación que Finlandia ha tenido, como el mayor consumidor de energía per cápita de Europa, se menciona que Finlandia es el país con el mayor número de plantas, con un total de siete centrales, sin embargo, la mayor planta pertenece al Reino Unido.

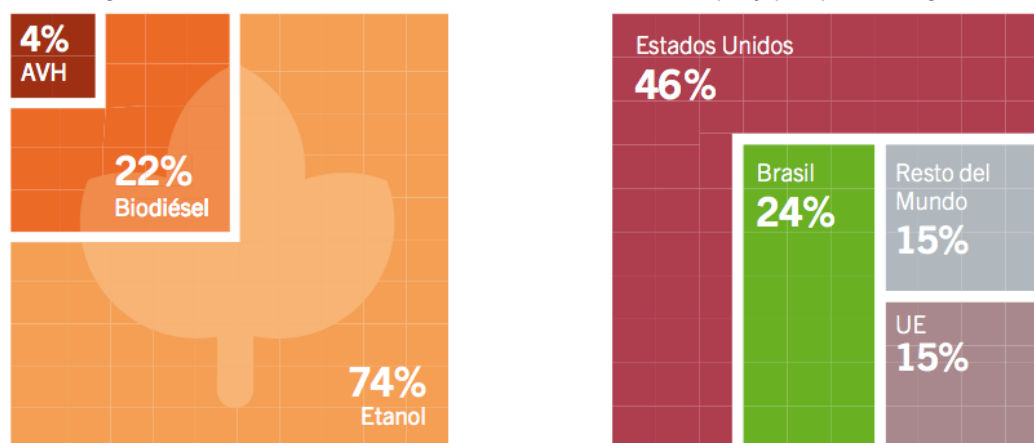
Tabla. 16. Las mayores plantas de energía eléctrica a partir de biomasa en el mundo.

Nombre	Capacidad total [MW]	País
Ironbridge.	740	Reino Unido
AlholmensKraft.	265	Finlandia
Toppila.	210	Finlandia
Polaniec.	205	Polonia
Kymijärvi II.	160	Finlandia.
Vaasa.	140	Finlandia
Wisapower.	140	Finlandia
Florida Crystals.	140	Estados Unidos
KaukaanVoima.	125	Finlandia
Seinäjoki.	125	Finlandia

Fuente. Fondo de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO),2016.

Uno de los combustibles que ha experimentado crecimiento aumentando en 4% a nivel mundial su producción es el etanol, el cual ha logrado romper paradigmas y ha alcanzado un nuevo record de producción principalmente en Estados Unidos y Brasil. La participación del biodiésel a nivel mundial ha sufrido un decremento debido a las restricciones de producción en los mercados asiáticos.

Fig. 14 Producción mundial de biocombustibles. Por tipo y por país o región.



Fuente. Reporte de la situación mundial energías renovables 2016.REN 21

2.1.3.4 Energía Solar Fotovoltaica en el Mundo

La energía solar eléctrica se genera a partir de dispositivos electrónicos en estado sólido llamados celdas fotovoltaicas, las cuales están hechas de silicio, que proviene del cuarzo y la arena. Al unir los paneles solares se constituyen una celda fotovoltaica que es colocada en una estructura para recuperar la energía que proviene del sol.

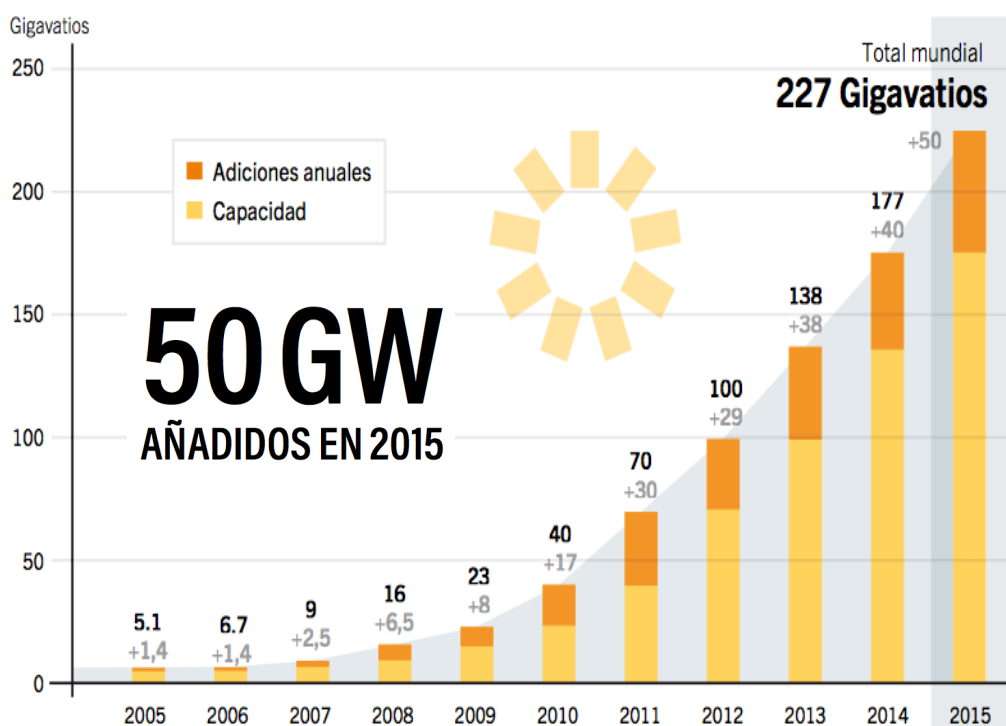
El informe de actividades de las energías renovables en 2016, reporto un aumento en la participación en el mercado de la energía fotovoltaica en un 25 % con respecto a 2014, adicionando una cantidad superior a los registros anteriores de 50 [GW] con lo cual, se ha logrado registrar un total mundial de capacidad instalada de 227 [GW].

La mayor capacidad añadida 2015 corresponde a los siguientes países:

- China,
- Japón
- Estados Unidos

Sin embargo, destacan en el informe la importancia de los mercados emergentes, ya que en todos los continentes contribuyeron de manera significativa al crecimiento mundial, impulsados en gran medida por el aumento de la competitividad de los costos de energía solar fotovoltaica.

Fig. 15. Capacidad y adiciones anuales de Energía FV en el mundo 2015



Fuente. Reporte de la situación mundial energías renovables 2016.REN 21

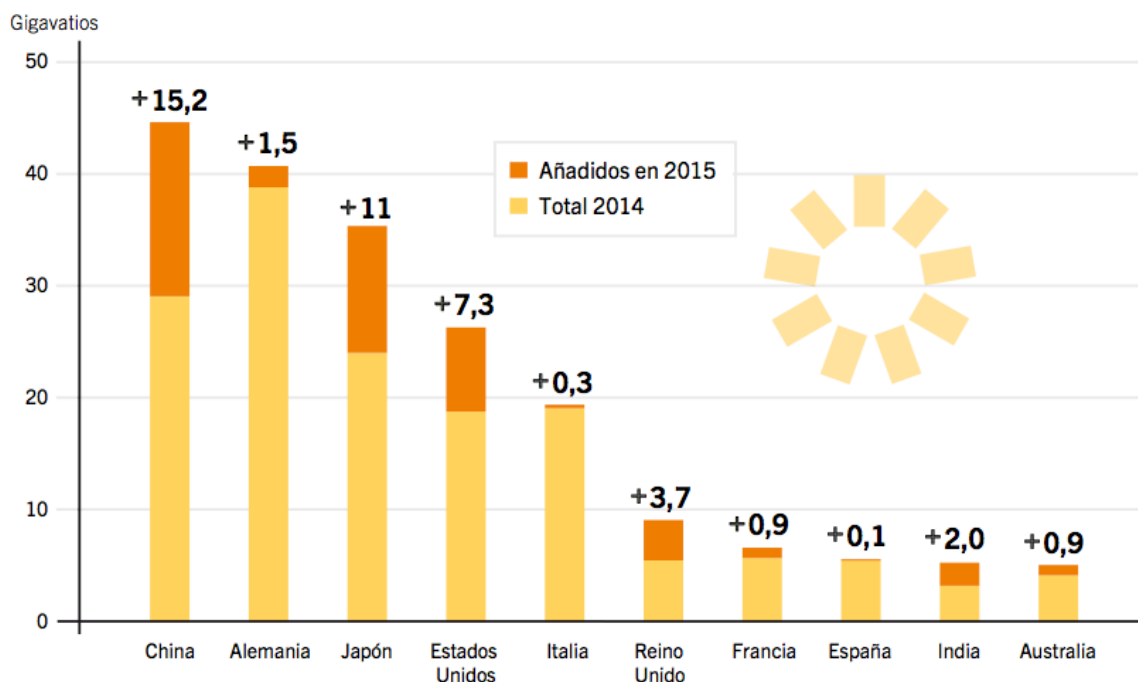
A fines de 2015, el aumento de las capacidades que van adquiriendo los países para generar energía, fortalece la posibilidad de cumplir con la demanda en electricidad en distintos países, por ejemplo:

- Italia 7,8%,
- Grecia 6,5% y
- Alemania 6,4%

Como un dato importante cabe resaltar como China alcanzó el 100% de electrificación, apoyándose en la energía solar FV instalada fuera de la red desde 2012.

En la actualidad la lista la encabeza China quien rebaso en el último periodo a Alemania, y ahora ocupa el segundo lugar seguido de Japón y Estados Unidos en capacidad acumulada.

Fig. 16. Diez países líderes en energía FV en el mundo 2015



Fuente. Reporte de la situación mundial energías renovables 2016. REN 21

Las mayores plantas fotovoltaicas del mundo, están representadas principalmente por Estados Unidos, China e India, sin embargo, hay proyectos mayores, que se encuentran actualmente en construcción.

Tabla. 17. Las mayores plantas de energía Fotovoltaica en el mundo.

Nombre	Capacidad total [MW]	País
Kurnool Ultra Mega Solar Park.	1.000	India
Longyangxia Hydro- Solar.	850	China
Planta fotovoltaica de Kamuthi.	648	India
Solar Star Solar Farm I y II.	597	Estados Unidos
Copper Mountain.	552	Estados Unidos
Desert Sunlightg Solar Farm.	550	Estados Unidos
Topaz Solar Farm.	550	Estados Unidos
Mesquite Solar Project.	400	Estados Unidos
Quaid-e-Azam Solar Park.	400	Pakistán
Planta fotovoltaica Ningxia Yanchi Fase I.	380	China

Fuente. Informe trimestral PV Demand Market Tracker 2016. Elaboración Propia.

2.1.3.5 Energía Eólica en el Mundo

La energía eólica, es la energía creada por el viento y transformada en energía mecánica y electricidad. Se crea cuando el sol calienta a la tierra, a diferentes temperaturas, cuando la masa de aire se calienta asciende y se crea una presión debajo de sí misma, creándose a la vez masas de aire por efecto de las diferencias de temperatura.

Dichas masas de aire tienen dirección, velocidad y densidad, lo que provoca que la masa de aire se ponga en movimiento, y se genere energía cinética, que mueve las turbinas para generar energía mecánica y eléctrica.

El comportamiento referente a la participación de generación de energía eléctrica por efectos del viento, en el mundo, destaca China, quien ha hecho frente al aumento en la demanda de energía eléctrica y se presenta como el país industrializado más grande del mundo, por ello su interés en la elaboración de programas en relación a la energía eólica. Como fabricante de aerogeneradores es considerado como el mayor a nivel mundial.

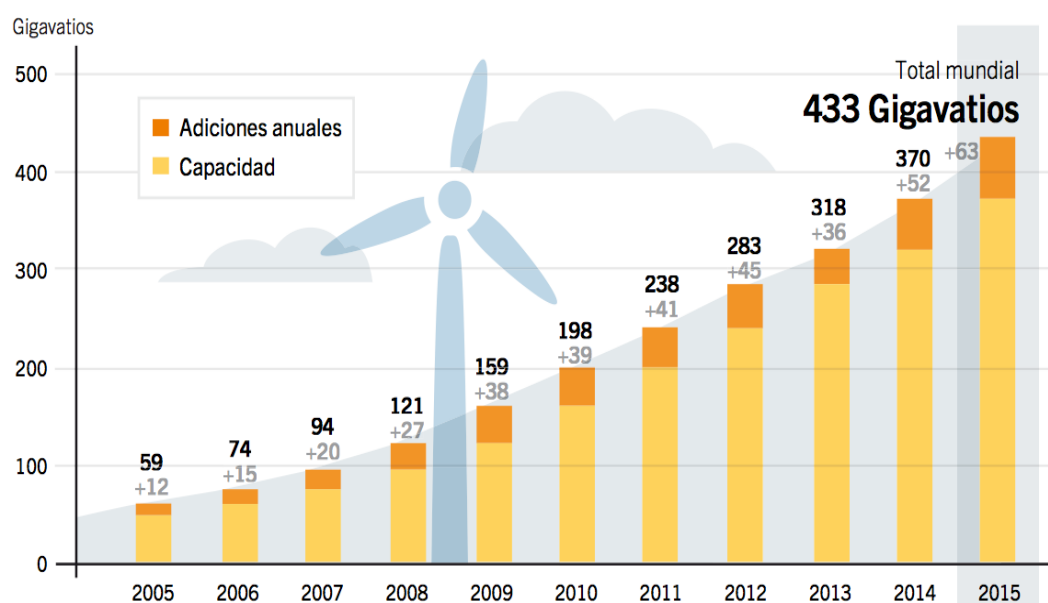
La tendencia ascendente que ha seguido la tecnología eólica para la generación de energía eléctrica en China, ha sido paulatino, consiguiendo ser el mayor productor del mundo de energía eólica en 2014, superando la generación de energía eléctrica en comparación con la generación eléctrica por fuentes de recursos nucleares. Los primeros países productores mundiales de energía por fuentes eólicas son:

- China,
- Estados Unidos,
- Alemania,
- India
- España

El análisis del comportamiento de la energía eólica en el mundo nos indica que el crecimiento de la energía eólica instalada aumento un 12.4 % en 2016, alcanzando un total de 486,749 [MW] instalados, según datos del Global Wind Energy Council (WEC).

En la figura 19, se muestra las adiciones anuales de 2005 a 2015, mostrando un record a nivel mundial de adición anual en 2015 con 63 [GW], integrando a nivel mundial 433 [GW] de la capacidad instalada, para generación eléctrica por fuentes eólicas.

Fig. 17. Capacidad y adiciones anuales de energía eólica en el mundo 2005 - 2015.



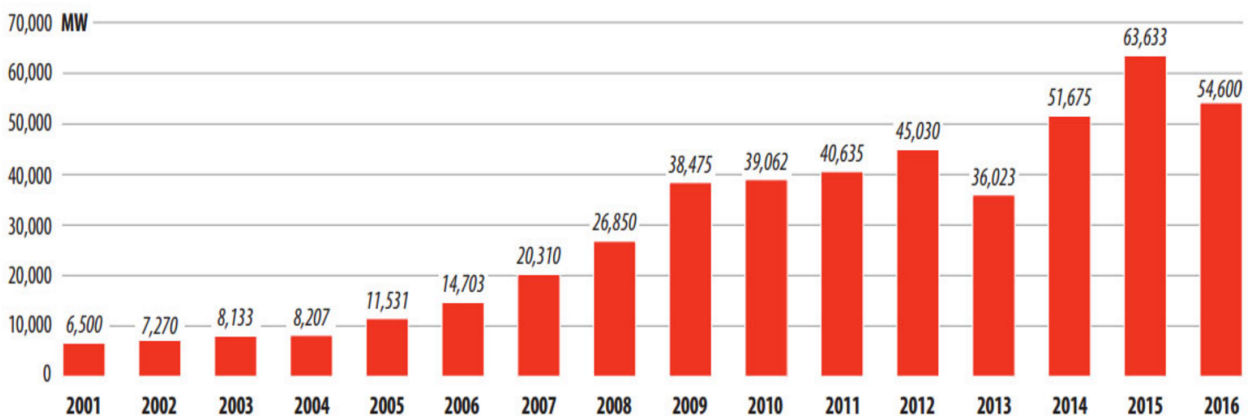
Fuente. Reporte de la situación mundial energías renovables 2016. REN 21

En el 2015 las adiciones fueron gracias a la participación de los países que no pertenecen a la OCDE, liderados por China, también América Latina continúa con la tendencia hacia la energía eólica como una fuente de energía confiable y de bajo costo, y se suman grandes inversionistas que se ven atraídos por la estabilidad de sus rendimientos, según informa la revista REN21 referente a la situación mundial de energías renovables.

En el contexto mundial, la energía eólica ya está establecida como fuente de energía en más de 100 países entre ellos, China quien ya cuenta con 12,960 [MW] instalados en 2012 y ha alcanzado los 75,324 [MW] de potencia instalada acumulada.

En la figura 19 y 20 se observan los datos que ofrece el reporte “Global Wind 2016” donde se refleja el comportamiento que ha desarrollado la energía eólica, en relación a la capacidad eólica instalada anualmente, y la capacidad acumulada de 2001 a 2016.

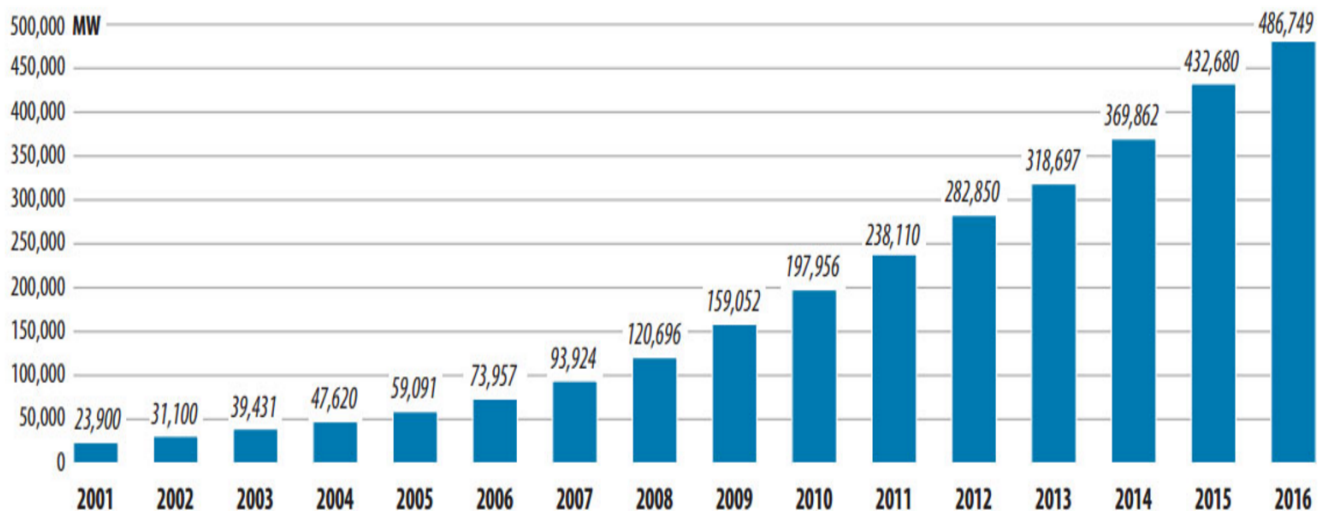
Fig. 18. Potencia eólica instalada anual en el mundo 2001-2016.



Fuente: GWEC – Global Wind 2016 Report.

Anualmente, la energía eólica, ha tenido un crecimiento constante, únicamente disminuyendo la potencia eólica instalada en el año 2013 y en 2016, sin embargo, el comportamiento muestra el resultado que ha tenido en su participación en la generación eléctrica, desempeñando un papel importante al satisfacer la demanda de electricidad en un número de países que cada vez va en aumento, entre ellos Alemania con más del 60%, Dinamarca con 42% de la demanda en 2015 y Uruguay 15,5%.

Fig. 19. Potencia eólica instalada acumulada en el mundo 2001-2016.



Fuente: GWEC – Global Wind 2016 Report.

En el reporte de la asociación mundial de la energía eólica, WWEA ,2015 destaca a las mayores plantas de energía Eólica, sin embargo, debido a la acelerada evolución de este sector las plantas que se encuentran en construcción en la actualidad, tendrán capacidades superiores y una mayor participación en la generación eléctrica a nivel mundial.

Las mayores plantas de energía eólica al 2015 se muestran a continuación.

Tabla. 18. Las mayores plantas de energía Eólica en el mundo.

Nombre	Capacidad total [MW]	País
Complejo Eólico Gansu.	7,965	Gansu (China)
Centro de Energía Eólica Alta.	1,547	California (EEUU)
Parque Eólico de Muppandal.	1,500	Tamil Nadu (India)
Parque Eólico Jaisalmer.	1,064	Rajasthan (India)
Parque Eólico Shepherds Flat.	845	Oregón (EEUU)
Parque Eólico Roscoe.	781.5	Texas (EEUU)
Centro de Energía Eólica Horse Hollow.	735.5	Texas (EEUU)
Parque Eólico Capricorn Ridge.	662.5	Texas (EEUU)
Parque Eólico Fântânele-Cogealac.	600	Dobruja (Rumanía)
Parque Eólico Fowler Ridge.	599.8	Indiana (EEUU)

Fuente. Asociación Mundial de la Energía Eólica, WWEA ,2015.

En siguiente tabla es posible reconocer la capacidad de generación eléctrica por fuentes eólicas de las principales regiones del planeta.

Tabla 19. Potencia eólica instalada en el mundo por región

Región	Capacidad acumulada 2015	% de Participación
PR China	145,362	33.6
USA	74,471	17.2
Germany	44,947	10.4
India	25,088	5.8
Spain	23,025	5.3
United Kingdom	13,603	3.1
Canada	11,205	2.6
France	10,358	2.4
Italy	8,958	2.1
Brazil	8,715	2.0
Rest of the world	67,151	15.5
Total TOP 10	365,731	84.5
World Total	432,883	100

Fuente: GWEC – Global Wind 2015 Report

Tabla 20. Potencia eólica instalada en el mundo por Región (1 de 2).

Potencia Eólica instalada en el mundo por región (1 de 2)

África y Medio Oriente	2014	Inicio de 2015	Finales de 2015
Sur de África	570	483	1,053
Morocco	787		787
Egipto	610	200	810
Tunisia	245		245
Etiopia	171	153	324
Jordania	2	117	119
Otros	151		151
Total	2,536	953	3,489
Asia	Asia 2014	Inicio de 2015	Finales de 2015
China	114,609	30,753	145,362
India	22,465	2,623	25,088
Japón	2,794	245	3,038
Sur de Corea	610	225	835
Taiwán	633	14	647
Pakistán	256		256
Tailandia	223		223
Filipinas	216		216
Otros	167		167
Total	141,973	33,859	175,831
Europa	2014	Inicio de 2015	Finales de 2015
Alemania	39,128	6,013	44,947
España	23,025		23,025
Reino Unido	12,633	975	13,603
Francia	9,285	1,073	10,358
Italia	8,663	295	8,958
Suecia	5,425	615	6,025
Polonia	3,834	1,266	5,100
Portugal	4,947	132	5,079
Dinamarca	4,881	217	5,063
Turquía	3,738	956	4,694
Países Bajos	2,865	586	3,431
Rumania	2,953	23	2,976
Irlanda	2,262	224	2,486
Austria	2,089	323	2,411
Bélgica	1,959	274	2,229
Resto de Europa	6,564	833	7,387
Total, de Europa	134,251	13,805	147,771

Fuente: GWEC – Global Wind 2015 Report

Tabla 20. Potencia eólica instalada en el mundo por región. (2 de 2)

Potencia Eólica instalada en el mundo por región (2 de 2)

América Latina y el Caribe	2014	Inicio de 2015	Finales de 2015
Brasil	5,962	2,754	8,715
Chile	764	169	933
Uruguay	529	316	845
Argentina	271	8	279
Panamá	35	235	270
Costa Rica	198	70	268
Honduras	126	50	176
Perú	148		148
Guatemala		50	50
Caribe	250		250
Otros	285		285
Total	8,568	3,652	12,219

Norte América	2014	Inicio de 2015	Finales de 2015
Estados Unidos de América	65,877	8,598	74,471
Canadá	9,699	1,506	11,205
México	2,359	714	3,073
Total	77,935	10,817	88,749

Región del Pacífico	2014	Inicio de 2015	Finales de 2015
Australia	3,807	380	4,187
Nueva Zelanda	623		623
Islas del Pacífico	12	1	13
Total	4,442	381	4,823

Total, en el Mundo	369,705	63,467	432,883
---------------------------	----------------	---------------	----------------

Fuente: GWEC – Global Wind 2015 Report

2.1.3.6 Energía Oceánica.

La capacidad de energía oceánica, se mantuvo en 530 [MW] en 2015 teniendo una participación importante la energía mareomotriz, sin embargo, es una tecnología con desarrollo e investigación que se ha visto mermado a consecuencia de los precios que los hidrocarburos han ofrecido disminuyéndola posibilidad de la inserción de nuevas tecnologías de generación eléctrica.

Los despliegues de tecnología de energía oceánica en 2015 en general fueron proyectos piloto, cuya actividad principal se enfocaba en tecnologías de energía mareomotriz, y en dispositivos capaces de transformar el oleaje en energía.

2.1.3.7 Resumen, Capacidad de generación de electricidad a finales de 2015 en el mundo.

De acuerdo a lo revisado en este capítulo, es posible elaborar un resumen que permita distinguir la nación con mejores perspectivas de acuerdo a su participación energética. En este sentido las variables involucradas que nos permiten distinguir adecuadamente el panorama energético se encuentran, la capacidad energética y la generación eléctrica para cada una de las tecnologías de generación por fuentes renovables.

Es posible distinguir el dominio de China en primer lugar en Capacidad y generación de energía hidráulica, además de encabezar la lista en cuanto a la capacidad de generación por energía geotérmica, solar fotovoltaica y capacidad eólica, lo que hace a la nación China la número uno en la generación de electricidad renovable total en el mundo.

Tabla 21. Capacidad y generación energética total 2015, por países

ELECTRICIDAD	1	2	3	4	5
Capacidad de energía hidráulica	China	Brasil	Estados Unidos	Canadá	Rusia
Generación de energía hidráulica	China	Brasil	Canadá	Estados Unidos	Rusia
Generación de bioenergía	Estados Unidos	China	Alemania	Brasil	Japón
Capacidad de energía geotérmica	Estados Unidos	Filipinas	Indonesia	México	Nueva Zelanda
Capacidad de calor geotérmico	China	Turquía	Japón	Islandia	India
Capacidad de energía solar fotovoltaica	China	Alemania	Japón	Estados Unidos	Italia
Capacidad de energía solar fotovoltaica (per capita)	Alemania	Italia	Belgica	Japón	Grecia
Capacidad de energía eólica	China	Estados Unidos	Alemania	India	España
Capacidad de energía solar eólica (per capita)	Dinamarca	Suecia	Alemania	Irlanda	España
Electricidad renovable Total (Sin incluir hidráulica)	China	Estados Unidos	Alemania	Japón	India
Electricidad renovable Total (Incluyendo hidráulica)	China	Estados Unidos	Brasil	Alemania	Canadá

Fuente., Reporte sobre la situación mundial de las energías renovables REN 21. Elaboración propia

Se puede distinguir en la figura 22 la evolución en capacidad instalada a nivel mundial de cada una de las tecnologías renovables útiles para la generación de energía a nivel mundial. Teniendo en primer lugar la capacidad hidráulica y enseguida de la energía eólica.

Tabla 22. Capacidad instalada mundial de energía renovable 2014-2015.

ELECTRICIDAD	2014	2015
Capacidad de energía hidráulica	1,036 [GW]	1,064 [GW]
Capacidad de bioenergía	101 [GW]	106 [GW]
Capacidad de energía Geotérmica	12.9 [GW]	13.2 [GW]
Capacidad de energía solar fotovoltaica	177 [GW]	227 [GW]
Capacidad de Energía eólica	370 [GW]	433 [GW]
Capacidad de energía renovable Total (Sin incluir hidráulica)	665 [GW]	785 [GW]
Capacidad de energía renovable Total (Incluyendo hidráulica)	1,701 [GW]	1,849 [GW]

Fuente. Reporte sobre la situación mundial de las energías renovables REN 21. Elaboración propia.

2.2. Contexto y evolución nacional del sector de generación de energía.

Para dar inicio a un análisis del desarrollo y tendencia que ha seguido la economía nacional en relación a la generación, de energía eléctrica, comenzaremos por describir brevemente los antecedentes de la energía eléctrica en México y el contexto de la industria de generación eléctrica analizando el panorama general de las tecnologías convencionales, renovables y limpias para la generación energética en México.

El país ocupa una posición intermedia en el plano internacional, con 258.2 [TW h] producidos en 2014 (SENER, 2004 - 2014), lo situaron en el segundo lugar de América Latina, solo superado por Brasil con 582.6 [TW/h].

Recientemente la industria petrolera en el país enfrenta retos frente a los nuevos escenarios a partir de la reforma energética, en el contexto donde se encuentra actualmente se produce menos petróleo, y las refinerías no operan al 100% de su capacidad, a continuación, se presenta la siguiente tabla que compara la capacidad instalada y la producción en miles de barriles diarios en 1990 y mayo de 2017.

Tabla 23. Refinerías en el País. Capacidad instalada.

Refinerías en el País:				
Refinería	Localidad	Capacidad Instalada	Generación [mddb], 1990	Generación [mddb], 2017
Ing. Antonio Dovalí Jaime	Salina Cruz, Oaxaca	330	251.14	199.1
Miguel Hidalgo	Tula de Allende, Hidalgo	315	214.10	228.1
Ing. Antonio M. Amor	Salamanca, Guanajuato	245	194.10	157.7
Ing. Héctor R. Lara Sosa	Cadereyta Jiménez, Nuevo León	275	191.50	149.5
Gral. Lázaro Cárdenas	Minatitlán, Veracruz	185	180.30	103.6
Francisco I. Madero	Ciudad Madero, Tamaulipas	196	152.50	78.3

Fuente: Anuario Estadístico de Pemex.

Además del sistema de refinación de México que consta de seis instalaciones, existe una coinversión en Estados Unidos con Shell, Pemex optó por incrementar el monto de las importaciones de petrolíferos, en lugar de concretar la construcción de una nueva refinería que se tenía programada para 2015 en Tula, Hidalgo.

De acuerdo a los datos del anuario estadístico de Pemex, Eleazar Rodríguez, del periódico “el financiero”, en su artículo del, 25 de julio de 2017 menciona la reducción que se ha manifestado en el sistema de refinación instalado en México, ya que tiene una capacidad de procesamiento de crudo de un millón 546 mil barriles diarios; ha disminuido, hasta mayo a 916.4 mil barriles diarios, casi el 60 por ciento de su capacidad instalada.

A continuación, se presenta una tabla donde se muestra el histórico de producción de crudo en México en el periodo de 2000 a 2016, donde se refleja el comportamiento descendiente en la medida en miles de barriles producidos, en la gráfica se observa como en 2004 fue el último año en el cual la tendencia era ascendente llegando a una producción de 3,382.8 miles de barriles producidos al día, colocando a la nación en un escenario muy lejano a la producción de crudo.

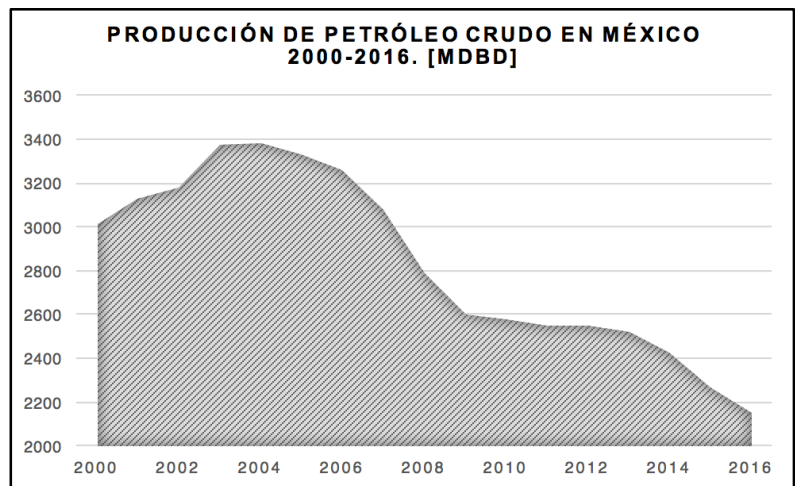
Tabla 24. Producción de o Crudo en México 2000-2016

**Producción de o Crudo en México
2000-2016. [mdbd]**

Año	Producción [Mdbd]
2000	3012
2001	3127
2002	3177.1
2003	3370.9
2004	3382.8
2005	3333.4
2006	3255.6
2007	3075.7
2008	2791.6
2009	2601.5
2010	2577
2011	2552.6
2012	2547.9
2013	2522.1
2014	2428.8
2015	2266.8
2016	2153.5

La producción de Crudo en México, muestra información relevante que indica la participación que ha tenido México en la generación de energía eléctrica por fuentes fósiles, las cuales están siendo importadas en gran medida y la tendencia que ha tenido México en los últimos trece años ha sido negativa debido a la baja inversión en refinerías y la alta dependencia a los combustible fósiles, por ello la necesidad de buscar alternativas que liberen el encadenamiento ante la dependencia de la materia prima lo cual limita el crecimiento de la economía y el desarrollo de la nación.

Fig. 20. Refinerías en el País. Capacidad instalada



Fuente: Anuario Estadístico de Pemex.

Fuente: Elaboración propia

En el análisis del contexto energético nacional, es importante conocer cómo opera el sistema eléctrico en México, por ello, la Dra. Violeta Amapola Nava, miembro de la Agencia Informativa Conacyt, en su artículo “Calculando la energía que consume México segundo a segundo”, en 2016 menciona los tres sistemas eléctricos que operan en nuestro país y se tienen definidos por su conectividad eléctrica:

1. El Sistema Interconectado Nacional (SIN), se encuentra categorizado en regiones: Central, Oriental, Occidental, Noroeste, Norte, Noreste y Peninsular. Estas regiones se encuentran interconectadas y pueden transferir energía a cualquier lugar que lo necesite, desde Quintana Roo hasta Chihuahua.
2. El sistema Baja California (BCN), ubicado en el estado de Baja California, está conectado con el sistema eléctrico de Estados Unidos y puede comprarle o venderle energía.
3. El sistema Baja California Sur (BCS), ubicado en el estado de Baja California Sur, no tiene enlace con ningún otro sistema eléctrico.

La región Centro (Ciudad de México y Estado de México) por carga residencial y Monterrey y Guadalajara por carga industrial.

Los Estados que producen más energía, se tiene Chiapas y Oaxaca de generación hidroeléctrica y eólica; el Noreste con generación de ciclos combinados y carbón; sin dejar atrás a Veracruz con su participación en la generación por ciclos combinados y la industria nucleoelectrica.

2.2.1 Tecnologías Convencionales en México.

Respecto al uso de las fuentes primarias para la producción de energía eléctrica, México muestra una fuerte dependencia de los combustibles fósiles, principalmente del gas natural alcanzando un 51.3% del total de la generación.

Este porcentaje lo ubica en el cuarto lugar dentro de los países que más emplean esta fuente primaria para la producción de electricidad, solo detrás de Japón, Rusia y Estados Unidos (*SENER, CFE y CRE*).

Las tecnologías convencionales se refieren a la de generación de energía eléctrica que emplea combustibles fósiles, pueden ser las centrales de ciclo combinado, carboeléctricas, combustión interna, lecho fluidizado, termoeléctrica convencional etc.

En relación al impacto ambiental, generación eléctrica por fuentes convencionales es considerada la segunda actividad del país con mayor impacto al ecosistema después de las fuentes móviles como lo son los aviones, helicópteros ferrocarriles, autobuses, autos, etc.

La generación eléctrica consiste en transformar agua en vapor el cual se expande en la turbina generando electricidad el combustible que utiliza puede ser carbón, gas natural, y los derivados del petróleo, por ello se consideran altamente contaminantes.

Tabla 25. Capacidad instalada en México de tecnologías convencionales ,2014-2015. [MW].

Tecnología	Capacidad 2014	Capacidad 2015
Ciclo combinado	23,456	24,043
Termo eléctrica convencional	12,657	12,711
Carboeléctrica	5,378	5,378
Turbogás	4,214	4,904
Combustion interna	1,152	1,163
Lecho Fluidizado	580	580
Total Convencional	47,438	48,788

Fuente *SENER, CFE y CRE y Subsecretaría de transición energética. Elaboración Propia*

2.2.1.1 Termoeléctrica Convencional en México.

Como antecedentes de la energía eléctrica en México es necesario mencionar el surgimiento de la energía eléctrica en México la cual tuvo lugar a finales de 1989, cuando comenzó el periodo presidencial de Porfirio Díaz (1877-1911) se instala en el estado de Guanajuato, la primera planta termoeléctrica generadora de energía eléctrica,

En la década de 1880 la industria eléctrica se concentraba en satisfacer las necesidades que las empresas mineras, agrícolas y textiles requerían, por ello, surgen paulatinamente las grandes empresas especializadas en la producción de electricidad, lo que llevo a una desigual condición de competencia, provocando que las pequeñas empresas sean absorbidas por las grandes, algunas de ellas son de capital nacional y otras de capital extranjero.

En 1881, da inicio el alumbrado público en el país, se colocaron las primeras lámparas en el Zócalo de la Ciudad de México, la Alameda Central, Reforma y otras principales calles de la ciudad, con lo cual la demanda energética empieza a aumentar de manera considerable.

En México las principales centrales termoeléctricas convencionales se encuentran en los estados de, Veracruz, Hidalgo, Colima, Sonora, Tamaulipas y Sinaloa a continuación se ofrece un listado de las principales centrales termoeléctricas que se encuentran instaladas en México.

Tabla 26. Listado de Centrales Generadoras de energía eléctrica en México, 2016. Combustión Interna

Centrales Generadoras de energía eléctrica en México.			
Central Generadora	Entidad Federativa	Tecnología o de Generación	Capacidad Instalada [MW]
C.C.I. Baja California Sur I	Baja California Sur	Combustión Interna	162.7
C.C.I. Gral. Agustín Olachea A. (Pto. San Carlos)	Baja California Sur	Combustión Interna	104.125
C.C.I. Guerrero Negro II (Vizcaíno)	Baja California Sur	Combustión Interna	10.8
C.C.I. Santa Rosalía	Baja California Sur	Combustión Interna	5
C.C.I. Hol-Box	Quintana Roo	Combustión Interna	3.2
C.C.I. Yécora	Sonora	Combustión Interna	1.8
C.C.I. Huicot	Nayarit	Combustión Interna	1.18

Fuente. Dirección de operaciones CFE, 2016. Elaboración Propia.

La siguiente tabla muestra las centrales generadoras eléctricas en México que utilizan el vapor como mecanismo de generación eléctrica.

Tabla 27. Listado de Centrales Generadoras de energía eléctrica en México, 2016. Vapor.

Centrales Generadoras de energía eléctrica en México			
Central Generadora	Entidad Federativa	Tecnología o de Generación	Capacidad Instalada [MW]
C.T. Pdte. Adolfo López Mateos (Tuxpan)	Veracruz	Vapor	2,100.00
C.T. Francisco Pérez Ríos (Tula)	Hidalgo	Vapor	1,605.60
C.T. Gral. Manuel Álvarez Moreno (Manzanillo)	Colima	Vapor	1,300.00
C.T. Villa de Reyes	San Luis Potosí	Vapor	700
C.T. Puerto Libertad	Sonora	Vapor	632
C.T. José Aceves Pozos (Mazatlán II)	Sinaloa	Vapor	616
C.T. Salamanca	Guanajuato	Vapor	550
C.T. Altamira	Tamaulipas	Vapor	500
C.T. Carlos Rodríguez Rivero (Guaymas II)	Sonora	Vapor	484
C.T. Valle de México	E. de México	Vapor	450
C.T. Juan de Dios Bátiz Paredes (Topolobampo)	Sinaloa	Vapor	320
C.T. Presidente Juárez (Rosarito)	Baja California	Vapor	320
C.T. Guadalupe Victoria (Lerdo)	Durango	Vapor	320
C.T. Benito Juárez (Samalayuca)	Chihuahua	Vapor	316
C.T. Francisco Villa	Chihuahua	Vapor	300
C.T. Pdte. Emilio Portes Gil (Río Bravo)	Tamaulipas	Vapor	300
C.T. Mérida II	Yucatán	Vapor	168
C.T. Poza Rica	Veracruz	Vapor	117
C.T. Punta Prieta II	Baja California Sur	Vapor	112.5
C.T. Lerma	Campeche	Vapor	112.5
C.T. Felipe Carrillo Puerto (Valladolid)	Yucatán	Vapor	75

Fuente. Dirección de operaciones CFE, 2016. Elaboración Propia.

2.2.1.2 Centrales térmicas de ciclo combinado.

La generación de energía en centrales de ciclo combinado, se lleva a cabo de la misma forma que en una turbina de gas, aprovechando los gases de escape, recuperándolos y utilizándolos para generar vapor e impulsar una turbina de vapor, ofreciendo varias ventajas como la continuidad de la generación eléctrica y un mayor grado de eficiencia con respecto al resto de tecnologías de generación de energía convencionales.

Tabla 28. Listado de Centrales Generadoras de energía eléctrica en México, 2016. Ciclo Combinado

Centrales Generadoras de energía eléctrica en México			
Central Generadora	Entidad Federativa	Tecnología de Generación	Capacidad Instalada [MW]
C.C.C. Gral. Manuel Álvarez Moreno	Colima	Ciclo Combinado	1,453.91
C.C.C. Tamazunchale, Iberdrola	San Luis Potosí	Ciclo Combinado	1,135.00
C.C.C. Altamira V, Iberdrola Energía del Golfo	Tamaulipas	Ciclo Combinado	1,121.00
C.C.C. Altamira III y IV, Iberdrola Altamira	Tamaulipas	Ciclo Combinado	1,036.00
C.C.C. Tuxpan III y IV Fuerza y Energía de Tuxpan	Veracruz	Ciclo Combinado	983.00
C.C.C. Presidente Juárez (Rosarito)	Baja California	Ciclo Combinado	743
C.C.C. Chihuahua II (El Encino)	Chihuahua	Ciclo Combinado	619.4
C.C.C. El Sauz	Querétaro	Ciclo Combinado	591
C.C.C. Valle de México	E. de México	Ciclo Combinado	549.3
C.C.C. Valladolid III, Generación Valladolid	Yucatán	Ciclo Combinado	525.00
C.C.C. Samalayuca II	Chihuahua	Ciclo Combinado	521.76
C.C.C. Rio Bravo IV, Central Valle Hermoso,	Tamaulipas	Ciclo Combinado	500.00
C.C.C. La Laguna II, Iberdrola Energía La Laguna	Durango	Ciclo Combinado	498.00
C.C.C. Tuxpan II Electricidad Águila de Tuxpan.	Veracruz	Ciclo Combinado	495.00
C.C.C. Rio Bravo II Central Anáhuac.	Tamaulipas	Ciclo Combinado	495.00
Productores Independientes de Energía por Ciclo Combinado			
Central Generadora	Entidad Federativa	Tecnología de Generación	Capacidad Instalada [MW]
C.C.C. Campeche Energía Campeche.	Campeche	Ciclo Combinado	252.40
C.C.C. Saltillo Central Saltillo	Coahuila	Ciclo Combinado	247.50

Fuente. Dirección de operaciones CFE, 2016. Elaboración Propia.

2.2.1.3 Carboeléctricas.

En México existen 3 carboeléctricas que generan 5,378 [MW] correspondientes casi al 8 % de toda la capacidad instalada, en 2015 contribuyen con el 11 % de la generación eléctrica del país.

A continuación, se muestra la tabla con las tres carboeléctricas generadoras de electricidad que operan actualmente en México, destacando la capacidad instalada y la entidad federativa donde se localizan.

Tabla 29. Listado de Centrales Generadoras de energía eléctrica en México, 2016. Carboeléctricas

Centrales Generadoras de energía eléctrica en México			
Central Generadora	Entidad Federativa	Tecnología de Generación	Capacidad Instalada [MW]
C.T. José López Portillo (Río Escondido)	Coahuila	Carboeléctrica	1,200.00
C.T. Carbón II	Coahuila	Carboeléctrica	1,400.00
C.T. Pdte. Plutarco Elías Calles (Petacalco)	Guerrero	Carboeléctrica	2,778.36

Fuente. Dirección de operaciones CFE, 2016. Elaboración Propia.

2.2.1.4 Lecho Fluidizado.

Existe 2 centrales en México de lecho fluidizado aumentando su capacidad a 580 [MW] y generan 4,286 [GWh], en 2015.

El lecho fluidizado es un método que se utiliza para quemar carbón en un lecho de partículas calientes suspendidas en una corriente de gas que actúa como un fluido, y permite una mezcla rápida de las partículas. El combustible, triturado en partículas muy finas, se inyecta en la parte inferior de la caldera, manteniéndose en suspensión mediante un flujo de aire. El lecho fluido sustenta el combustible sólido mientras se bombea aire hacia arriba durante la combustión dando como resultado la formación de remolinos que favorecen la mezcla del gas y del combustible. A la cámara de combustión se añade caliza, con lo que los óxidos de azufre que se forman en la combustión del carbón quedan retenidos junto con la ceniza.

Con este tipo de caldera se logran buenos rendimientos en la producción de electricidad, a la vez que se reducen de forma significativa las emisiones contaminantes.

La combustión en lecho fluido permite una mayor flexibilidad en el uso de combustible: (carbón, biomasa, coque de petróleo etc. además de un mayor aprovechamiento del mismo, así como una mejor transferencia del calor producido durante la combustión. (Álvarez Gutiérrez René Flores Aguilera y Joel Josué Conversión de la central termoeléctrica villa de reyes de combustóleo a carbón,2009)

2.2.1.5 Turbogas.

La turbina de gas es una máquina de combustión interna que transforma la energía química de una fuente combustible en potencia mecánica útil, es decir, en energía mecánica rotatoria.

México cuenta con un 7.2 % de la capacidad instalada de centrales de turbogas y participa con 3.8 % de la generación eléctrica del país. Los estados con mayor participación son utilizados como fuente de energía principalmente el gas natural, los gases de escape son generalmente liberados a la atmósfera, en Nuevo León la compañía de electricidad "Los Ramones", integrada por Invergy y Capital Energético Mexicano, construirán una planta de generación de turbogas con una capacidad instalada de 550 [MW].

Tabla 30. Listado de Centrales Generadoras de energía eléctrica en México, 2016. Carboeléctricas

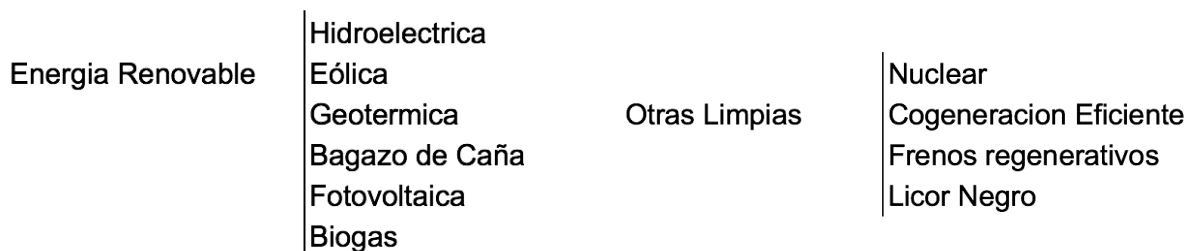
Centrales Generadoras de energía eléctrica en México			
Central Generadora	Entidad Federativa	Tecnología de Generación	Capacidad Instalada [MW]
C. Cogeneración Salamanca (TG)	Guanajuato	Turbogás	393
C.TG. Tijuana	Baja California	Turbogás	345
C.TG. Huinalá	Nuevo León	Turbogás	150
C.TJ. Nonoalco	Ciudad de México	Turbo Jet	106
C.TG. Cancún	Quintana Roo	Turbogás	102
C.TG. Nizuc	Quintana Roo	Turbogás	88
C.TG. Los Cabos	Baja California Sur	Turbogás	84.66
C.TG. Coyotepec	Estado de México	Turbogás	64
C.TG. Mexicali	Baja California	Turbogás	62
C.TG. Parque [TG. Juárez]	Chihuahua	Turbogás	59
C.TG. La Laguna [TG. Laguna - Chávez]	Durango	Turbogás	56
C.TG. Chankanaab	Quintana Roo	Turbogás	53
C.TG. Monclova	Coahuila	Turbogás	48
C.TG. Ciudad del Carmen	Campeche	Turbogás	47
C.TG. La Paz	Baja California Sur	Turbogás	43
C.TG. Caborca	Sonora	Turbogás	42
C.TG. Xul-Ha	Quintana Roo	Turbogás	39.7
C.TG. Ciudad Constitución	Baja California Sur	Turbogás	33.22
C.TG. Cuautitlán	Estado de México	Turbogás	32
C.TG. Atenco	Estado de México	Turbogás	32
C.TG. Ecatepec	Estado de México	Turbogás	32
C.TG. Remedios	Estado de México	Turbogás	32
C.TG. Vallejo	Estado de México	Turbogás	32
C.TG. Victoria	Estado de México	Turbogás	32
C.TG. Villa de las Flores	Estado de México	Turbogás	32
C.TG. Aragón	Ciudad de México	Turbogás	32
C.TG. Coapa	Ciudad de México	Turbogás	32
C.TG. Iztapalapa	Ciudad de México	Turbogás	32
C.TG. Magdalena	Ciudad de México	Turbogás	32
C.TG. Santa Cruz	Ciudad de México	Turbogás	32
C.TG. Culiacán	Sinaloa	Turbogás	30
C.TG. Mérida II	Yucatán	Turbogás	30
C.TG. Nachi-Cocom	Yucatán	Turbogás	30
C.TG. Chávez [TG. Laguna - Chávez]	Coahuila	Turbogás	28
C.TG. Ciprés	Baja California	Turbogás	27.43
C.TG. Tecnológico [TG. Monterrey]	Nuevo León	Turbogás	26
C.TG. Universidad [TG. Monterrey]	Nuevo León	Turbogás	24
C.TG. Leona [TG. Monterrey]	Nuevo León	Turbogás	24
C.TG. Industrial [TG. Juárez]	Chihuahua	Turbogás	18
C.TG. Guerrero Negro II (Vizcaíno)	Baja California Sur	Turbogás	14
C.TG. Fundidora [TG. Monterrey]	Nuevo León	Turbogás	12

Fuente. Dirección de operaciones CFE, 2016. Elaboración Propia.

2.2.2 Tecnologías Limpias en México

Las energías son consideradas limpias si sus emisiones no superan los 100[Kg CO₂/MWh]. En México se consideran Limpias a las energías renovables, y otras energías limpias de la siguiente manera.

Fig. 21. Energías Limpias



Fuente. Elaboración Propia.

Una medida de generación de energía distinta a la habitual, requiere un mercado más flexible, en el cual se logre incorporar el comercio de las distintas fuentes renovables en la matriz energética.

En la tabla 25 se compara la capacidad instalada de otras energías limpias en el periodo de 2014 a 2015, en la cual se muestra un aumento de 110 [MW] en la industria nucleoeléctrica en un año.

Tabla 31. Capacidad instalada en México de otras energías limpias 2014-2015 [MW].

Tecnología	Capacidad 2014	Capacidad 2015
Nucleoeléctrica	1,400	1,510
Cogeneración Eficiente	559	583
Frenos regenerativos	7	7
Total Otras Limpias	1,966	2,100

Fuente SENER, CFE y CRE y Subsecretaria de transición energética. Elaboración Propia

Uno de los combustibles que se utilizan para cogeneración es el gas natural, el cual, tiene una participación mixta con las energías renovables. En el marco actual se sugiere implementar políticas encaminadas a eliminar las emisiones de CO₂ del sistema energético, con ello, los ingresos futuros de las empresas y los países exportadores de combustibles fósiles se verán afectados. Una alternativa es la implementación de bonos de carbono, los cuales certifican que una instalación o proyecto ha reducido o evitado una cierta cantidad de emisiones de CO₂, bajo una metodología estandarizada. Los CEL (Enrique Rebolledo, 2014), son certificados que se entregarían a un generador de energía limpia con base a su producción [MWh].

Enrique Rebolledo menciona en su artículo, “Bonos y certificados: tres instrumentos de financiación verde” el compromiso que se añade a una aportación por número de bonos “CEL”, podría generar un incentivo financiero, apoyando a pequeños desarrolladores, y promoviendo las innovaciones, creación de empleo y fomento a la energía distribuida, sin embargo; considera que, los riesgos aumentarían considerablemente en caso de cambios de políticas repentinos, ciclos de políticas pendulares u otras circunstancias que llevaran a las empresas a invertir en una demanda que no llegara a materializarse.

El riesgo que es latente se refleja en la incertidumbre que existe en cuanto a la dirección de la transición comercial que se está presentando en el gas, lo que podría retrasar decisiones sobre proyectos nuevos de exploración y producción, que frenarían el desarrollo de la tecnología.

2.2.2.1 Cogeneración en México

La cogeneración la producción de calor y electricidad simultáneamente, utilizando combustibles fósiles como el gas natural, combustóleo, o combustibles renovables por ejemplo, el hidrogeno, , biogás etc.

Los tipos de ciclos de cogeneración se definen de los equipos principales, los más comunes son:

- Cogeneración con motor alternativo de gas o combustible.
- Cogeneración con turbina de gas
- Cogeneración en ciclo combinado con turbina de gas.
- Cogeneración en ciclo combinado con motor alternativo
- Cogeneración con turbina de vapor
- Trigeneración

Un proceso de cogeneración e convierte 75 – 80% del combustible en energía útil, mientras que las plantas más modernas alcanzan hasta 90% o más.

La cogeneración es considerada una de las energías limpias que emite gases de efecto invernadero, sin embargo, en México ha tenido un crecimiento en relación a la capacidad instalada, de acuerdo a los datos del reporte de energías limpias, ha aumentado de 442 .65 [MW] a 709.13[MW] durante el primer semestre de 2016. En relación a la generación de energía por cogeneración también aumento en 34 % en el mismo periodo.

2.2.2.2 Energía Nuclear en México.

La Estrategia Nacional de Energía (SENER 2010) emitida por la Secretaría de Energía plantea el uso de fuentes de generación eléctrica limpias entre las cuales se encuentra la energía nuclear.

Tabla 32. Centrales Generadoras de energía Nucleoeléctrica.

Centrales Generadoras de energía eléctrica en México			
Central Generadora	Entidad Federativa	Tecnología o de Generación	Capacidad Instalada [MW]
C.N. Laguna Verde	Veracruz	Nucleoeléctrica	1,608.00

Fuente. Dirección de operaciones CFE, 2016. Elaboración Propia

La estrategia plantea un crecimiento en las fuentes de generación limpia, para pasar del 23.9 % en el 2009 al 35 % en 2024. CFE cuenta con una capacidad instalada de 1,608 [MW] en su única planta llamada Laguna Verde, la energía nuclear, a nivel nacional, la cual representa un porcentaje muy pequeño de la capacidad instalada, así como de la Generación de energía eléctrica.

Para la generación de energía en las centrales nucleoelectricas, requiere relativamente poco combustible nuclear para la obtención de una gran cantidad de energía y no emite gases de efecto invernadero, además de la abundancia el uranio en nuestro planeta y los residuos industriales ocupan poco volumen para su desecho, sin embargo las desventajas son considerables, ya que las centrales nucleares son vulnerables a accidentes laborales, y riesgos terroristas, pero el riesgo más latente, es debido al manejo de materiales de desecho radioactivo que tarda un largo periodo en perder su radioactividad y sin duda los altos costos que conllevan entrada en operación de las centrales nucleoelectricas, limitan su construcción y ejecución de proyectos .

2.2.3 Tecnologías Renovables en México. Contexto nacional.

Anteriormente en las tablas 24 y 30 se observó la capacidad instalada en México de energías fósiles y otras energías limpias en el periodo de 2014-2015, el dato correspondiente para la capacidad instalada de otras energías limpias llegó a 1,966 [MW] en 2015 y a 2,100 [MW] en 2016, con lo cual se suma al total de capacidad instalada de energías renovables y obtenemos el total de energías limpias de acuerdo a las categorías utilizadas en México.

En la tabla 33 se muestra el total de capacidad instalada por fuentes limpias en México en 2015 sumando 18,014 [MW] y 19,267 [MW] en 2016, con ello obtenemos un total 68,642 [MW] en 2015 y 68,055 [MW] en 2016 de acuerdo a los datos publicados por la Secretaría de Energía.

Tabla 33. Total, Capacidad instalada en México 2014-2015

Tecnología	Capacidad 2014	Capacidad 2015
Total, Convencional	47,438	48,788
Total, Renovable	16,048	17,167
Total, Otras Limpias	1,966	2,100
Limpia	18,014	19,267
Total	65,452	68,055

Fuente SENER, CFE y CRE y Subsecretaría de transición energética. Elaboración Propia.

La energía renovable es un recurso con amplio potencial que existe México, por su privilegiada situación geográfica, con sol, viento, agua, biomasa y yacimientos geotérmicos, en abundancia, que aunado al talento mexicano podrían llevar a las energías limpias a un lugar preponderante en la matriz energética de nuestro país.

Se presenta, la capacidad instalada de las fuentes de energía renovable que tienen mayor participación en México, en la tabla se compara el crecimiento que han experimentado estas tecnologías de generación de energía eléctrica amigables con el ambiente del año 2014 al 2015.

Tabla 34. Capacidad instalada en México de energía renovable 2014-2015

Tecnología	Capacidad 2014	Capacidad 2015
Hidroeléctrica	12,458	12,489
Eólica	2,036	2,805
Geotérmica	813	926
Solar	56	56
Bioenergía	685	760
Generación Distribuida FIRCO	0.3	131
Total Renovable	16,048	17,167

Fuente SENER, CFE y CRE y Subsecretaría de transición energética. Elaboración Propia.

De la capacidad instalada en México en el primer semestre del año 2016, el 25.08 % corresponde a la participación de la energía renovable las cuales son suman un total de 17,811 [MW].

Tabla 35. Capacidad instalada de energía renovable en México primer semestre de 2016

Tecnología	Porcentaje	Capacidad Instalada [MW]
Hidroeléctrica	17.72	12,584
Eólica	4.5	3,193
Geotérmica	1.3	926
Bagazo	1.06	755
Fotovoltaica	0.38	270
Biogas	0.12	83
Total	25.08	17,811

Fuente SENER, CFE y CRE y Subsecretaría de transición energética. Elaboración Propia

En el primer semestre de 2016 (*Tabla 35*), se observa un aumento en de 95 [MW] capacidad instalada, para la industria hidroeléctrica, además de la energía eólica la cual también aumento en su capacidad en solo un semestre llegando a 3,193 [MW], lo que corresponde a 1.3 % de participación energética, por parte de la energía geotérmica la capacidad instalada se mantuvo constante de 2015 al primer semestre de 2016 con 926 [MW].

Tabla 36 Capacidad instalada de energía renovable en México, 2015-2016.

Capacidad instalada de energía renovable en México, 2015-2016				
Tecnología	Porcentaje	C. Instalada [MW] 2015	Porcentaje	C. Instalada [MW] 2016
Hidroeléctrica	18.35%	12,488.50	17.13%	12,588.99
Eólica	4.12%	2,805.12	5.08%	3,735.42
Geotérmica	1.36%	925.60	1.24%	908.60
Bagazo	0.98%	670.18	1.09%	798.34
Fotovoltaica	0.25%	170.24	0.53%	388.61
Biogás	0.12%	80.80	0.11%	83.17
Total	25.18%	17,140	25.18%	18,503

Fuente: Reporte Avance de las energías limpias 2015 y 2016. SENER. Elaboración propia

En la tabla 35 es importante destacar, en términos porcentuales el crecimiento en la participación de energías limpias relacionado a la capacidad instalada permaneció constante, en el año completo de 2015 a 2016, aunque haya habido cambios en el porcentaje de cada una de ellas, la disminución de capacidades de energías limpias (Hidroeléctrica, geotermia, y biogás), se vio compensado con el aumento del resto energías limpias (Eólica, Bagazo de caña y fotovoltaica.), manteniendo el índice de capacidad instalada constante.

Tabla 37. Capacidad Instalada para la generación de energía en México primer semestre ,2016.

Capacidad Instalada para la Generación de Energía Eléctrica al 30 Junio 2016		
Tecnología	Porcentaje	Capacidad Instalada [MW]
Fosiles	71.61%	50,857
Renovables	25.08%	17,811
Otras Limpias	3.31%	2,349
Limpias	28.39%	20,160
Total		71,017

Fuente: Reporte Avance de las energías limpias 2015 y 2016. SENER. Elaboración propia

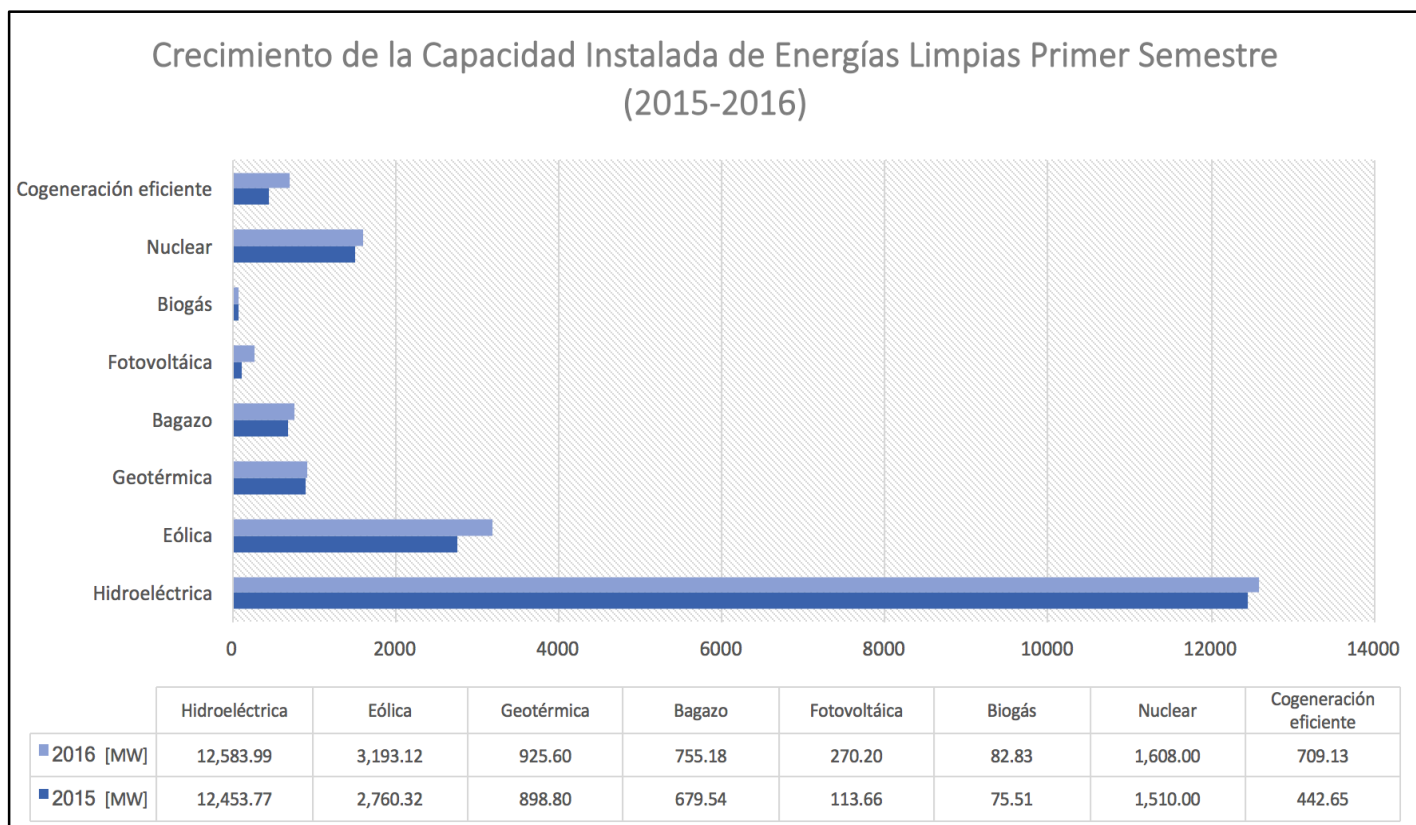
La capacidad instalada de la energía total incluyendo renovable es de 17 811 [MW] y otras limpias con 2,349, [MW] al primer semestre de 2016 representó un total de 28.39 % en su participación, lo cual indica que es alcanzable la meta señalada en la ley de transición energética, y generar el 35 % de la energía que se consume en el país por energía limpia para 2024.

En el siguiente grafico (Fig.21), podemos comparar los cambios que han ocurrido en la el aumento o disminución de la capacidad instalada para generación de energía eléctrica por fuentes limpias en México, tomando como referencia el periodo del primer semestre de 2015 y el primer semestre de 2016.

La figura siguiente, además de representar gráficamente el comportamiento de las diferentes tecnologías, es posible analizar los datos que muestran la capacidad acumulada de cada una de las fuentes, los cuales están incluidos en la tabla del siguiente gráfico.

El crecimiento de la capacidad instalada en energías limpias correspondiente al primer semestre del año 2015 en comparación con el primer semestre de 2016, tiene mayor representación en la energía eólica en términos porcentuales, aumentando de 2,760[MW] a 3,193.12, además de la energía solar fotovoltaica, la cual tuvo un repunte pasando de 113.66 [MW] a 270 [MW], en su capacidad para generar energía eléctrica.

Fig. 22. Capacidad Instalada de Energías Limpias en México, Primer Semestre (2015-2016)



Fuente: Reporte Avance de las energías limpias 2015 y 2016. SENER

México, en 2015 contaba con una capacidad instalada de 19,265.64 [MW], para generar energía por fuentes renovables, actualmente cuenta con una capacidad instalada total para generar energía eléctrica por medio de fuentes limpias de 21.179 [MW] incrementando en 10 % en 2016.

Sin embargo, es importante resaltar el crecimiento de la capacidad instalada de fuentes fósiles, pasando de 48,778 [MW] a 52,331 [MW], lo que indica que la tendencia a continuar la dependencia a combustibles fósiles.

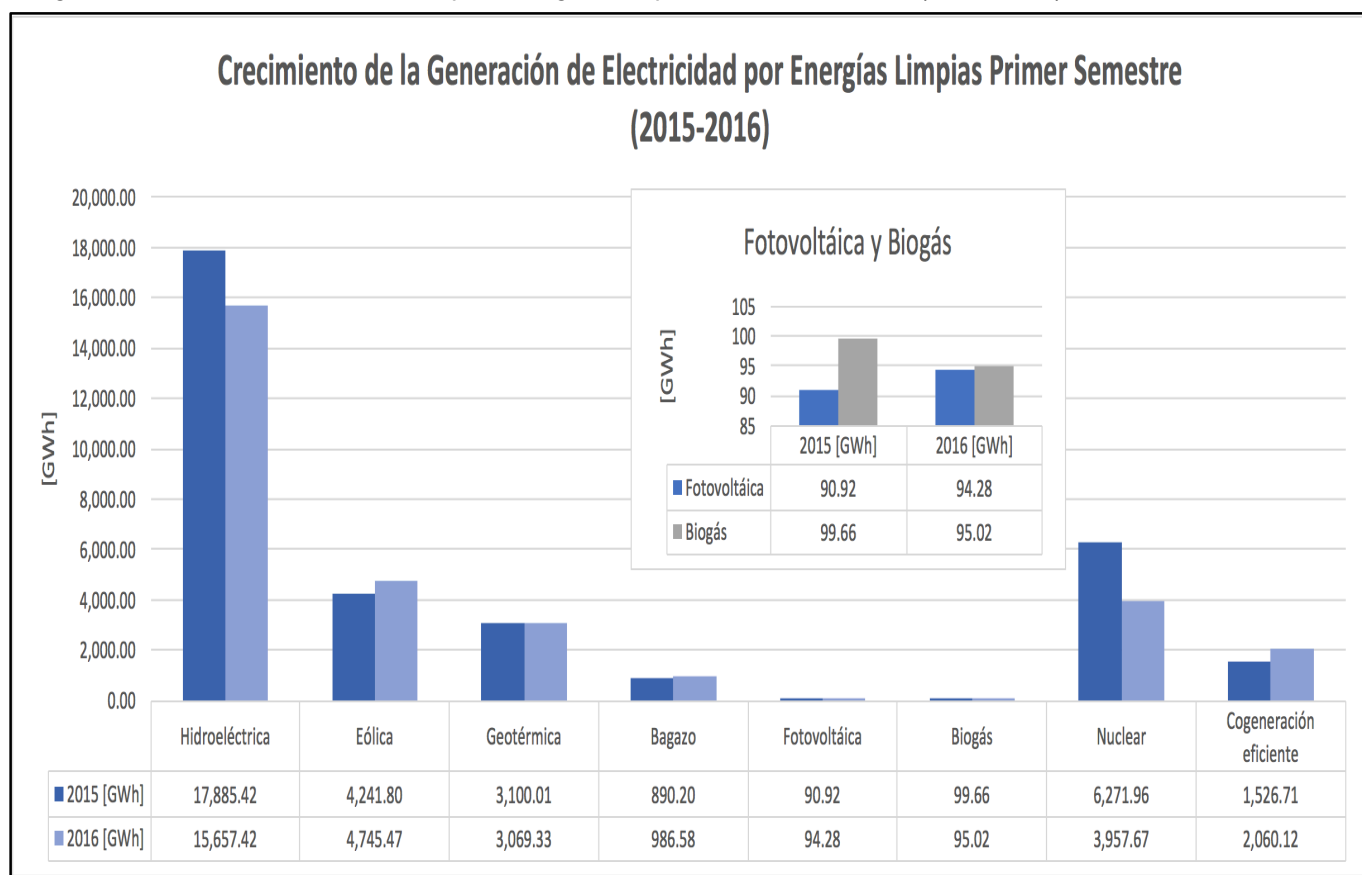
Tabla 38. Capacidad instalada de energía renovable en renovables en México 2015-2016

Capacidad instalada Energía en México 2015 – 2016				
Tecnología	Porcentaje	C. instalada 2015 [MW]	Porcentaje	C. instalada 2016 [MW]
Fósiles	71.69%	48,778.39	71.19%	52,331.12
Renovables	25.19%	17,140.05	25.17%	18,503.19
Otras Limpias	3.12%	2,125.16	3.64%	2,676.12
Limpias	28.31%	19,265.2	28.81%	21,179.3
TOTAL		68,043.60		73,510.43

Fuente: Reporte Avance de las energías limpias 2015 y 2016. SENER. Elaboración Propia.

En la figura 22 se observa el comportamiento de la generación de energía en México por fuentes renovables comparando el primer semestre de 2015 y el primer semestre de 2016, en el cual destaca la disminución en generación de la industria hidroeléctrica y nuclear, mientras que la energía eólica y fotovoltaica muestra un crecimiento paulatino, no así con la energía geotérmica que en términos generales ya que su comportamiento es constante y no hay movimientos considerables en cuanto a generación de electricidad

Fig. 23. Generación de electricidad por Energías Limpias Primer Semestre (2015-2016)



Fuente: Reporte Avance de las energías limpias 2015 y 2016. SENER. Elaboración propia

Se muestra a continuación en la tabla 38 donde se observa la dependencia que aún existe en la generación de energía por fuentes fósiles, la cual aumento en porcentaje de participación de 79.66% a 79.69% en 2016, de igual manera la participación de las energías renovables aumento .5 %, con lo cual la participación de otras energías limpias disminuyeron de 4.98 % a 4.9 %, lo que trajo en suma un decremento de .3 puntos porcentuales en la participación de energía limpia en México en el periodo de 2015 a 2016.

Tabla 39. Generación de Energía en México 2015 – 2016

Generación de Energía en México 2015 – 2016				
Tecnología	Porcentaje	Generación 2015 [GW h]	Porcentaje	Generación 2016[GW h]
Fósiles	79.66%	246,600.66	79.69%	254,495.55
Renovables	15.36%	47,548.81	15.41%	49,206.21
Otras Limpias	4.98%	15,403.32	4.90%	15,661.77
Limpias	20.34%	309,552.8	20.31%	254,495.6
TOTAL		309,552.79		319,363.53

Fuente: Reporte Avance de las energías limpias 2015 y 2016. SENER. Elaboración propia

2.2.3.1.1 Generación de Energía Geotérmica en México

Tijuana es uno de los estados que se abastece de energía geotérmica debido principalmente a la falla de san Andrés, la cual es la que suministra energía a esa región. En Baja California se encuentra el campo geotérmico “Cerro Prieto” Generador número 1 a nivel nacional. Y el segundo más grande a nivel mundial, Puebla Los humeros y en Michoacán el yacimiento de los azufres.

Tabla 40. Centrales Generadoras de energía eléctrica en México. Geotermia

Centrales Generadoras de energía eléctrica en México por Geotermia			
Central Generadora	Entidad Federativa	Tecnología o de Generación	Capacidad Instalada [MW]
C.G. Cerro Prieto	Baja California	Geotermoeléctrica	570
C.G. Los Azufres	Michoacán	Geotermoeléctrica	225
C.G. Humeros	Puebla	Geotermoeléctrica	68.6
C.G. Tres Vírgenes	Baja California Sur	Geotermoeléctrica	10

Fuente. Dirección de operaciones CFE, 2016. Elaboración Propia.

México ocupa un lugar importante en el ranking mundial, y la SENER, ha dispuesto recursos suficientes para impulsar esta tecnología que opera con éxito en México. A diferencia de otras tecnologías, señala la SENER, la generación geotérmica está concentrada en algunos países.

México la geotermia tienen una participación sustantiva en la matriz de generación energética

Como es el caso de otras energías renovables, la geotermia, es utilizada principalmente para generar electricidad a través de la conversión de la energía térmica a mecánica y finalmente a energía eléctrica.

De acuerdo al tipo de yacimiento geotérmico, Enríquez Harper en su obra el ABC de las energías renovables, las clasifica en:

- Sistemas hidrotérmicos
- Sistemas geopresurizados
- Sistemas de roca seca caliente

En fomento a la participación y al aprovechamiento de los recursos geotérmicos en México la Secretaría de Energía ha otorgado 21 permisos de exploración geotérmica, lo que abre la posibilidad a explotar el amplio potencial con el que cuenta la nación, los recursos geotérmicos actuales posicionan a México como el cuarto lugar a nivel mundial en capacidad instalada de centrales de energía geotérmica.

Existe una nueva concesión de explotación se tiene programada para el campo geotérmico de Cerritos Colorados ubicado en el municipio de Zapopan en el Estado de Jalisco, durante 2015 y 2016, la superficie requerida en la primera etapa consta de lo que augura crecimientos importantes para esta Tecnología, en el mediano plazo.

De acuerdo con el Inventario Nacional de Energías Limpias (INEL), existe un potencial probado y probable de 6,061 [MW]

Para analizar el comportamiento de la energía geotérmica en México analizamos los datos de generación de energía en México en el periodo de 2004 al 2016, a continuación, se presentan los resultados obtenidos del reporte de avance de energías limpias 2016.

La industria geotérmica muestra una generación de energía que podría considerarse constante ya que la cantidad de energía generada oscila entre 6000 [GWh] y 7500 [GWh], aproximadamente.

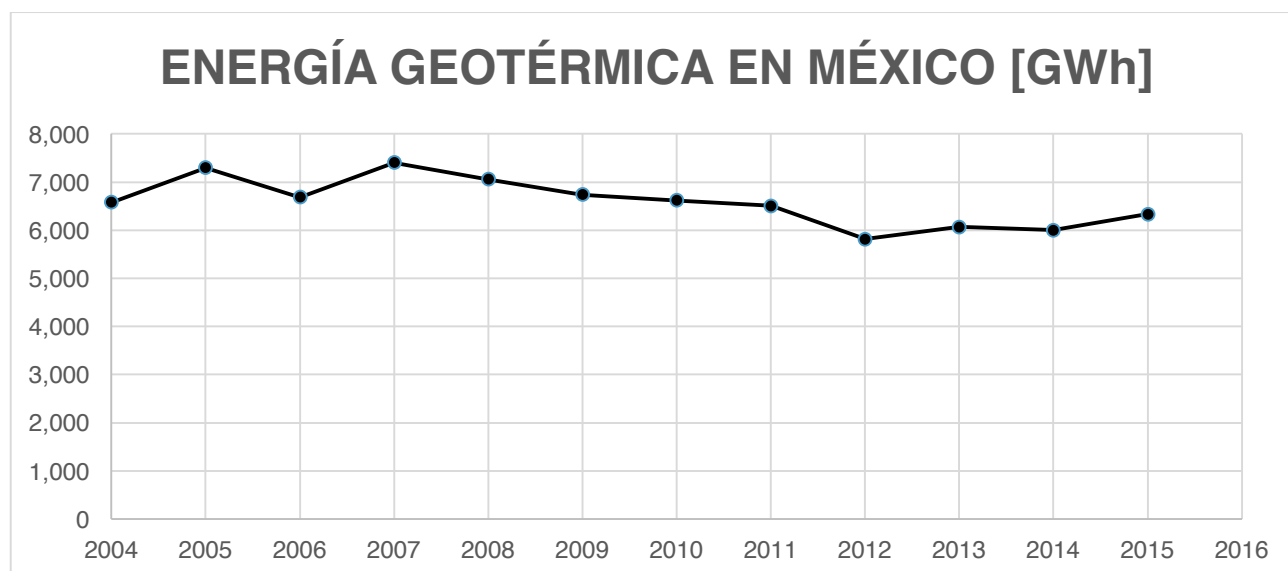
Tabla 41. Generación de energía eléctrica por medio de fuentes geotérmicas en México 2004 a 2016

GENERACIÓN DE ENERGÍA GEOTÉRMICA	
Año	GENERACIÓN [GWh]
2004	6,577
2005	7,299
2006	6,685
2007	7,404
2008	7,056
2009	6,740
2010	6,618
2011	6,507
2012	5,817
2013	6,070
2014	6,000
2015	6,331
2016	6,148

Fuente: Reporte Avance de las energías limpias 2015 y 2016. SENER. Elaboración propia

En la siguiente grafica se muestra el histórico en el cual es posible percibir la complejidad que existe en la industria geotérmica para, aprovechar nuevas tecnologías y desarrollar capacidades en generación eléctrica, lo que implica inversiones en exploración y extracción de recursos geotérmicos, lo que limita el crecimiento y no muestra una tendencia ascendente o descendente considerable, en realidad denota fluctuaciones alrededor del mismo valor en 13 años .

Fig. 24. Generación de electricidad por Energías Geotermia (2004- 2015)



Fuente: Reporte de la situación mundial energías renovables 2016.REN 21. Elaboración propia

2.2.3.2 Generación de Energía Hidráulica en México 2004-2015

Diez años después de la aparición de la primera planta termoeléctrica, en 1889 entró en operación la primera planta hidroeléctrica en Bato pilas, en Chihuahua y la frontera con Estados Unidos.

En 1903 Porfirio Díaz otorgó la concesión de la explotación de las caídas de las aguas de los ríos de Tenango, Necaxa y Xaltepuxtla. La planta de Necaxa, en el estado de Puebla, fue el primer gran proyecto hidroeléctrico, con seis unidades y una capacidad instalada de 31.500 [MW].

Tabla 42. Centrales Generadoras de energía eléctrica en México. Hidroeléctrica. (1de 2)

Centrales Generadoras de energía eléctrica en México			
Central Generadora	Entidad Federativa	Tecnología o de Generación	Capacidad Instalada [MW]
C.H. Manuel Moreno Torres (Chicoasén)	Chiapas	Hidroeléctrica	2,400.00
C.H. Infiernillo	Michoacán	Hidroeléctrica	1,200.00
C.H. Malpaso	Chiapas	Hidroeléctrica	1,080.00
C.H. Aguamilpa Solidaridad	Nayarit	Hidroeléctrica	960
C.H. Belisario Domínguez (Angostura)	Chiapas	Hidroeléctrica	900
C.H. Leonardo Rodríguez Alcaine (El Cajón)	Nayarit	Hidroeléctrica	750
C.H. Alfredo Elías Ayub (La Yesca)	Nayarit	Hidroeléctrica	750
C.H. Carlos Ramírez Ulloa (El Caracol)	Guerrero	Hidroeléctrica	600
C.H. Luis Donald Colosio (Huites)	Sinaloa	Hidroeléctrica	422
C.H. Ángel Albino Corzo (Peñitas)	Chiapas	Hidroeléctrica	420
C.H. Temascal	Oaxaca	Hidroeléctrica	354
C.H. Villita	Michoacán	Hidroeléctrica	320
C.H. Fernando Hiriart Balderrama (Zimapan)	Hidalgo	Hidroeléctrica	292
C.H. Valentín Gómez Farías (Agua Prieta)	Jalisco	Hidroeléctrica	240
C.H. Mazatepec	Puebla	Hidroeléctrica	220
C.H. Plutarco Elías Calles (El Novillo)	Sonora	Hidroeléctrica	135
C.H. Raúl J. Marsal (Comedero)	Sinaloa	Hidroeléctrica	100
C.H. Bacurato	Sinaloa	Hidroeléctrica	92
C.H. Humaya	Sinaloa	Hidroeléctrica	90
C.H. Cupatitzio	Michoacán	Hidroeléctrica	80
C.H. Gral. Manuel M. Diéguez (Santa Rosa)	Jalisco	Hidroeléctrica	70
C.H. La Amistad	Coahuila	Hidroeléctrica	66
C.H. Cóbano	Michoacán	Hidroeléctrica	60
C.H. 27 de septiembre, El Fuerte	Sinaloa	Hidroeléctrica	59.4
C.H. Colimilla	Jalisco	Hidroeléctrica	51.2
C.H. Tingambato Miguel Alemán	E. de México	Hidroeléctrica	42
C.H. Tuxpango	Veracruz	Hidroeléctrica	36
C.H. Falcón	Tamaulipas	Hidroeléctrica	31.5
C.H. Chilapan	Veracruz	Hidroeléctrica	26
C.H. Boquilla	Chihuahua	Hidroeléctrica	25
C.H. Santa Bárbara , Miguel Alemán	E. de México	Hidroeléctrica	22.525
C.H. José Cecilio del Valle	Chiapas	Hidroeléctrica	21
C.H. Oviáchic	Sonora	Hidroeléctrica	19.2
C.H. Botello	Michoacán	Hidroeléctrica	18
C.H. Camilo Arriaga (El Salto)	San Luis Potosí	Hidroeléctrica	18
C.H. Minas	Veracruz	Hidroeléctrica	15
C.H. Gral. Salvador Alvarado (Sanalona)	Sinaloa	Hidroeléctrica	14
C.H. Platanal	Michoacán	Hidroeléctrica	12.6
C.H. Encanto	Veracruz	Hidroeléctrica	10
C.H. Mocúzari	Sonora	Hidroeléctrica	9.6
C.H. Puente Grande	Jalisco	Hidroeléctrica	9
C.H. Zumpimito	Michoacán	Hidroeléctrica	8.4

Fuente. Dirección de operaciones CFE, 2016. Elaboración Propia.

Tabla 42. Centrales Generadoras de energía eléctrica en México. Hidroeléctrica. (2 de 2)

Centrales Generadoras de energía eléctrica en México			
Central Generadora	Entidad Federativa	Tecnología o de Generación	Capacidad Instalada [MW]
C.H. Colotlipa	Guerrero	Hidroeléctrica	8
C.H. Luis M. Rojas (Intermedia)	Jalisco	Hidroeléctrica	5.32
C.H. Bombaná	Chiapas	Hidroeléctrica	5.24
C.H. Colina	Chihuahua	Hidroeléctrica	3
C.H. San Pedro Porúas	Michoacán	Hidroeléctrica	2.56
C.H. Tamazulapan	Oaxaca	Hidroeléctrica	2.48
C.H. Schpoiná	Chiapas	Hidroeléctrica	2.24
C.H. Jumatán	Nayarit	Hidroeléctrica	2.18
C.H. Portezuelo II	Puebla	Hidroeléctrica	2.12
C.H. Portezuelo I	Puebla	Hidroeléctrica	2
C.H. Ixtaczoquitlán	Veracruz	Hidroeléctrica	1.6
C.H. Texolo	Veracruz	Hidroeléctrica	1.6
C.H. Electroquímica	S. Luis Potosí	Hidroeléctrica	1.44
C.H. Tirio	Michoacán	Hidroeléctrica	1.096
C.H. Bartolinas	Michoacán	Hidroeléctrica	0.75
C.H. Micos	S. Luis Potosí	Hidroeléctrica	0.688
C.H. Itzícuaró	Michoacán	Hidroeléctrica	0.624
C.H. El Durazno Miguel Alemán	E. de México	Hidroeléctrica	0
C.H. Ixtapantongo, Miguel Alemán	E. de México	Hidroeléctrica	0
C.H. Gral. Ambrosio Figueroa (La Venta)	Guerrero	Hidroeléctrica	0

Fuente. Dirección de operaciones CFE, 2016. Elaboración Propia.

En la tabla 42 destacan principalmente las 3 centrales hidroeléctrica de Chiapas en Chicoasén con 2400 [MW] de capacidad instalada, Infiernillo en Michoacán con 1,200 [MW] y Malpaso en Chiapas con 1,080 [MW] según los datos emitidos por la CFE en 2016.

Durante 2014, se contabilizaron en el país 96 centrales hidroeléctricas que en conjunto aportaron 13% de la generación total de electricidad del país. De acuerdo a los datos emitidos por la CFE en 2016 se muestran a continuación las hidroeléctricas que actualmente se están operando en México.

A continuación, se muestra el comportamiento de la industria hidroeléctrica, en relación a la generación de energía eléctrica desde el año 2004 a 2015.

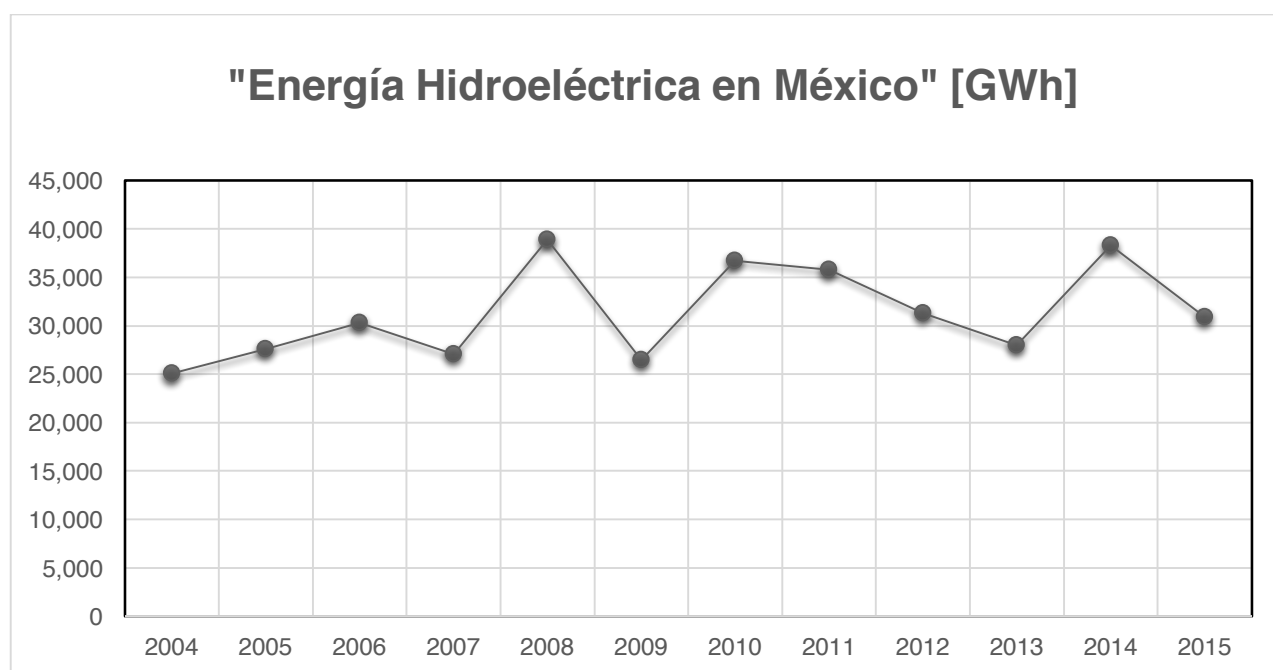
Tabla 43. Generación de energía hidroeléctrica en México de 2004 a 2015

GENERACIÓN DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA	
Año	GENERACIÓN [GWh]
2004	25,076
2005	27,611
2006	30,305
2007	27,042
2008	38,892
2009	26,445
2010	36,738
2011	35,796
2012	31,317
2013	27,958
2014	38,288
2015	30,892

Fuente: Reporte Avance de las energías limpias 2015 y 2016. SENER. Elaboración propia

En la siguiente Grafica es posible observar el comportamiento de la generación de electricidad por medio de energía hidráulica, en el cual es posible percibir que existe madurez tecnológica, en la geotermia.

Fig. 25. Generación de energía hidroeléctrica en México (2004- 2015).



Fuente: Reporte Avance de las energías limpias 2015 y 2016. SENER. Elaboración propia

2.2.3.3 Generación de Energía fotovoltaica en México 2004-2015.

Aun cuando su participación a nivel mundial no es significativa, Baja California Sur, Sonora, Coahuila, Guanajuato, y Oaxaca, cuentan con parques solares. México se encuentra integrado en el llamado “cinturón solar” que lo posiciona entre los principales países con más alto potencial solar en el mundo, ya que recibe en promedio 5 [KWh] por metro cuadrado al día, que lo coloca entre los cinco países con mayor radiación, superado tan sólo por China y Singapur.

Como se muestra en la siguiente tabla, en el reporte de la dirección de operaciones de la “Comisión Federal de Electricidad”, 2016, en México, se han venido desarrollando a partir de 2011 proyectos de generación de energía en Aguascalientes, así como proyectos pilotos por la CFE en Santa Rosalía, Baja California Sur, y en Cerro Prieto.

Tabla 44. Centrales Generadoras de energía eléctrica en México, Fotovoltaica.

Centrales Generadoras de energía eléctrica en México			
Central Generadora	Entidad Federativa	Tecnología o de Generación	Capacidad Instalada [MW]
C.S.FV. Cerro Prieto	Baja California	Solar Fotovoltaica	5
C.S.FV. Santa Rosalía	Baja California Sur	Solar Fotovoltaica	1

Fuente. Dirección de operaciones CFE, 2016. Elaboración Propia.

En recientes publicaciones del gobierno federal el 25 de noviembre de 2017, informa que, se construirán 4 nuevas centrales para generación de energía solar en Sonora, resultado de la tercera subasta eléctrica, con lo que se integra una inversión de 423 millones de dólares en los próximos tres años, con ello se potencializa el Estado de Sonora como una de las entidades que aporta energía limpia a la nación.

Los proyectos aumentarán la capacidad instalada en 498 [MW] a partir de cuatro proyectos con lo que se suman a las centrales solares que actualmente se encuentran en operación, así como a los proyectos ganadores en la subasta eléctrica que se realizó en 2016:

- AT Solar I - V,
- Bluemex Power y
- Orejana.

Tabla 45. Proyectos Fotovoltaicos en Sonora México 2017

Proyectos Fotovoltaicos en Sonora México 2017			
País	Empresa	Central Fotovoltaica	Capacidad instalada adicional [MW]
Canadá	Canadian Solar	Tastiota	100
		El Mayo	99
España	X-Elio	Bacabachi I	200
Francia	Consorcio Engie Solar I	Abril	99
Total			498

Fuente. Secretaria de Energía. Comunicado de prensa. 25 de noviembre 2015. Elaboración Propia.

En la tercera subasta eléctrica se reportó el precio histórico más económico a nivel internacional, correspondiente a de 20.57 dólares por [MWh], lo que permite a la energía fotovoltaica competir con otras tecnologías en la generación de energía eléctrica.

En Aguascalientes los proyectos a desarrollar serán dos nuevas centrales eléctricas fotovoltaicas que en conjunto representan 395 [MW] de capacidad instalada.

Tabla 46. Proyectos Fotovoltaicos en Aguascalientes México 2017

Proyectos Fotovoltaicos en Aguascalientes México 2017			
País	Empresa	Central Fotovoltaica	Capacidad instalada adicional [MW]
Francia	Neón Internacional	Pachamama	300
Canadá	Canadian Solar	Horus AG	95
Total			395

Fuente. Secretaria de Energía. Comunicado de prensa. 25 de noviembre 2015. Elaboración Propia.

A continuación, se muestra la generación de energía eléctrica fotovoltaica en México en el periodo de 2004 a 2015.

Tabla 47. Generación de energía Fotovoltaica en México de 2004 a 2015

GENERACIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA	
TIEMPO(t)	GENERACIÓN [GWh]
2004	8.8
2005	19.5
2006	19.5
2007	19.5
2008	19.5
2009	25.5
2010	27.8
2011	38.9
2012	58.4
2013	80.6
2014	135.5
2015	190.3

Fuente: Reporte Avance de las energías limpias 2015 y 2016. SENER. Elaboración propia

La grafica que representa el comportamiento de la generación fotovoltaica en México se observa a continuación.

Fig. 26. Generación de Fotovoltaica en México (2004- 2015)



Fuente: Reporte Avance de las energías limpias 2015 y 2016. SENER. Elaboración propia

2.2.3.4 Generación de Energía eléctrica por bagazo de caña en México 2004-2015

Conforme a los datos obtenidos del boletín técnico informativo de la caña de azúcar emitido por Sagarpa en 2016, México cuenta con 52 ingenios azucareros, en los cuales se emplea el bagazo de la caña como combustible en las calderas para generar vapor necesario para producir electricidad en las turbinas o para el accionamiento de generadores eléctricos.

Para medir el potencial energético que existe en México en relación a la biomasa en el sector azucarero se toma en consideración que por cada 100 toneladas de caña procesada se obtienen:

- 10 a 12 toneladas de azúcar;
- 25 a 30 toneladas de bagazo;
- 10 a 20 toneladas de residuos agrícolas
- 7 toneladas de paja

La energía eléctrica generada por bagazo de caña, que se entrega al sistema eléctrico nacional y cuenta con el potencial de reemplazar a la generada en centrales térmicas que consumen combustibles fósiles. A continuación, se muestra un histórico en la generación de energía por bagazo de caña en México de 2004 a 2015.

Tabla 48. Generación de energía en México por medio de bagazo de caña, de 2004 a 2015

GENERACION DE ENERGÍA, BAGAZO DE CAÑA	
Año	GENERACIÓN [GWh]
2004	91
2005	103
2006	117
2007	112
2008	125
2009	123
2010	54
2011	179
2012	319
2013	476
2014	1,221
2015	1,187

Fuente: Reporte Avance de las energías limpias 2015 y 2016. SENER. Elaboración propia

Fig. 27. Generación de eléctrica por medio de bagazo de caña en México (2004- 2015)



Fuente: Reporte Avance de las energías limpias 2015 y 2016. SENER. Elaboración propia

2.2.3.5 Generación de Energía por biogás en México 2004-2015

Existe en el país una Red Mexicana de Bioenergía (RMI), la cual explica que el biogás es un recurso energético capaz de hacer frente al reto de la transición energética en México ya que puede ser empleado como combustible para generar electricidad, calor o energía mecánica a partir de una fuente renovable como lo son los cultivos energéticos.

Existen un amplio el potencial energético en México a través del biogás, por ejemplo, en el sector agropecuario tienen un papel importante en la producción de excretas lo cual ha afectado drásticamente al ambiente debido al mal manejo de los desechos ganaderos, contaminando el agua, el suelo y el aire, por ello el uso de biodigestores, en donde se degrada la materia orgánica como resultado de la actividad bacteriana es posible obtener el biogás. Las principales ventajas relacionadas con el empleo de biodigestores utilizando las excretas del sector ganadero son: la producción de energía limpia, el reciclado de desechos orgánicos, la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero y la reducción de patógenos en las descargas (Holm-Nielsen,2009)

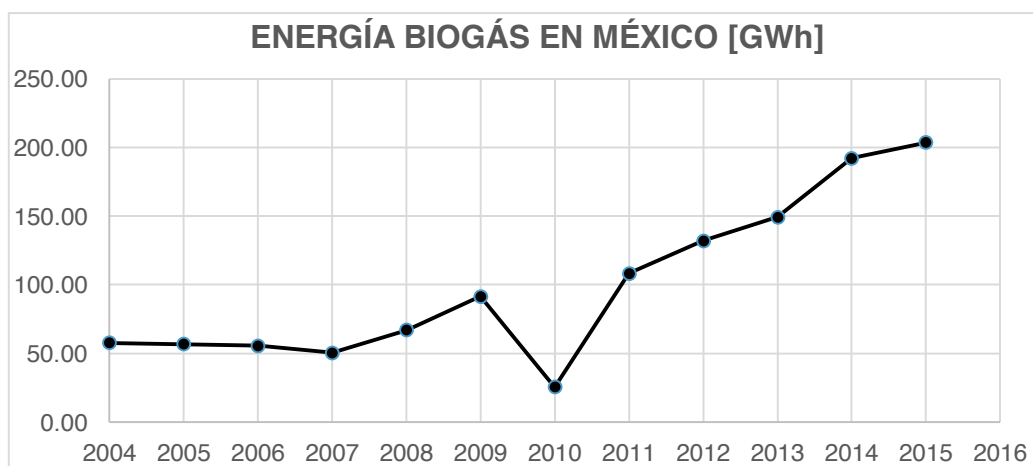
El potencial para el aprovechamiento energético se da en las “granjas formales”, el estimado para la producción de biogás es de 652 millones de m³ al año teniendo ventaja en el país los Estados de, Sonora, Guanajuato, Veracruz, Jalisco, Yucatán y Puebla. La situación histórica de la generación eléctrica por biogás se muestra a continuación.

Tabla 49. Generación de energía en México por medio de Biogás, de 2004 a 2015

ENERGÍA, BIOGÁS	
Año	GENERACIÓN [GWh]
2004	57.71
2005	56.72
2006	55.42
2007	50.41
2008	67.07
2009	91.52
2010	25.50
2011	108.28
2012	132.09
2013	149.15
2014	192.12
2015	203.57

Fuente: Reporte Avance de las energías limpias 2015 y 2016. SENER. Elaboración propia

Fig. 28. Generación de eléctrica por medio de Biogás en México (2004- 2015)



Fuente: Reporte Avance de las energías limpias 2015 y 2016. SENER. Elaboración propia

2.2.3.6 Generación de Energía Eólica en México 2004-2015

Conforme a los datos obtenidos en el reporte de la situación mundial energías renovables 2016, México cuenta 42 parques eólicos en operación y con recursos eólicos privilegiados como pocos países en el mundo. En México la energía eólica es considerada la industria con mayores recursos para satisfacer la demanda de electricidad a partir de energía renovable ya que dispone de una gran cantidad en zonas con vientos potenciales por ejemplo en la Rumorosa en Baja California, Nuevo León, San Luis Potosí, Zacatecas, el Golfo de México, Tamaulipas, Veracruz, Yucatán, Oaxaca en el Istmo de Tehuantepec y la Ventosa, la cual cuenta con una eficiencia del viento de 40 %, mientras que en Alemania es de sólo 18 %.

Tomando los datos de la dirección de operaciones de la CFE en 2016, obtenemos un panorama de las centrales de energía eléctrica en México, en la siguiente tabla se observa la central generadora, la entidad donde se genera la electricidad.

Tabla 50. Generación de energía en México por energía eólica, de 2004 a 2015

Centrales Generadoras de energía eléctrica en México			
Central Generadora	Entidad Federativa	Tecnología o de Generación	Capacidad Instalada [MW]
C.E. La Venta III, Energías Renovables Venta III, S.A. de C.V.	Oaxaca	Eoloeléctrica	102.85
C.E. Oaxaca III, C.E. Oaxaca Tres, S. de R.L. de C.V.	Oaxaca	Eoloeléctrica	102
C.E. Oaxaca II, C.E. Oaxaca Dos, S. de R.L. de C.V.	Oaxaca	Eoloeléctrica	102

Fuente. Dirección de operaciones CFE, 2016. Elaboración Propia.

Además de las centrales generadoras, también existen productores independientes, los cuales se muestran a continuación, y en tomando los datos de la CFE se muestra una capacidad instalada de 102 [MW] en las primeras tres productoras independientes.

Tabla 51. Productores Independientes de Energía Eólica

Productores Independientes de Energía Eólica			
Central Generadora	Entidad Federativa	Tecnología de Generación	Capacidad Instalada [MW]
C.E. Oaxaca IV, C.E. Oaxaca Cuatro	Oaxaca	Eoloeléctrica	102.00
C.E. Oaxaca I, C.E. Oaxaca Uno	Oaxaca	Eoloeléctrica	102.00
C.E. Energías Renovables La Mata,	Oaxaca	Eoloeléctrica	102.00
C.E. La Venta	Veracruz	Eoloeléctrica	84.2
C.E. Yuumil'iik	Quintana Roo	Eoloeléctrica	1.5
C.E. Guerrero Negro	Baja California Sur	Eoloeléctrica	0.6

Fuente. Dirección de operaciones CFE, 2016. Elaboración Propia.

Actualmente existen proyectos encaminado a mitigar los efectos de ocasionan la emisión de gases de efecto invernadero, además del reto por alcanzar las metas establecidas en la ley de transición energética con el compromiso de la mayor participación de energías limpias, por ello existen proyectos en desarrollo para cumplir dicho fin.

Coahuila es el Estado que cuenta con el desarrollo de tres centrales eólicas, en los que se estima una inversión de 473 millones de dólares, que aportaran 349 [MW] a la capacidad instalada existente.

A continuación, se muestra una tabla con los nuevos proyectos en desarrollo en México, en los Estados de Nuevo León y Coahuila.

Tabla 52. Nuevos Proyectos Eólicos en México 2017

Nuevos Proyectos Eólicos en México 2017				
Estado	País	Empresa	Central Fotovoltaica	Capacidad adicional [MW]
Coahuila	Italia	Enel Rinnovabile	Energía Limpia Amistad 2	100
			Energía Limpia Amistad 3	100
			Energía Limpia Amistad 4	148
Nuevo León	Italia	Enel Rinnovabile	Dolores de tecnología Eólica	244
Total				592

Fuente. Secretaría de Energía. Comunicado de prensa. 25 de noviembre 2015. Elaboración Propia.

La Asociación Mexicana de Energía Eólica A.C es organismo que promueve la generación y desarrollo de la energía eólica en México, con relación a los datos que ofrece la asociación, nos muestra un panorama a nivel estatal para conocer cuál es la situación actual a la capacidad instalada de energía eolica para generación de electricidad en México.

Tabla 53. Capacidad instalada de energía eólica en México en 2016 por Estados.

Capacidad instalada de energía eólica en 2016	
Estado	Capacidad [MW]
Baja California	166
Coahuila	200
Nuevo León	274
Tamaulipas	302
Oaxaca	2,360
Chiapas	29
Puebla	66
San Luis Potosi	200
Jalisco	179
Zacatecas	100
Total.	3,876

Fuente. Asociación Mexicana de Energía Eólica A.C. Elaboración propia

A continuación, se presentan los proyectos que operan actualmente en los principales Estados de la república mexicana, en donde se observa la capacidad instalada de cada uno de los proyectos, así como su modalidad y el fabricante de la tecnología eolica.

Tabla 54. Capacidad Instalada de Energía Eólica en Baja California, 2016

Baja California 165.7 [MW]				
Proyecto	Estado del Proyecto	Modalidad del Proyecto	Fabricante	Capacidad (MW)
Guerrero Negro	Operación	Operando	Gamesa	1
La Rumorosa	Operación	Autoabastecimiento	Gamesa	10
Energía Sierra Juárez	Operación	Exportación	Vestas	155

Tabla 55. Capacidad Instalada de Energía Eólica en Nuevo León, 2016

Nuevo León 148 [MW]				
Proyecto	Estado del Proyecto	Modalidad del Proyecto	Fabricante	Capacidad (MW)
Sta. Catarina	Operación	Autoabastecimiento	GE	22
VENTIKA I	Operación	Autoabastecimiento	Acciona	126
VENTIKA II	Operación	Autoabastecimiento	Acciona	126.0

Tabla 56. Capacidad Instalada de Energía Eólica en Tamaulipas, 2016

Tamaulipas 54 [MW]				
Proyecto	Estado del Proyecto	Modalidad del Proyecto	Fabricante	Capacidad (MW)
El Porvenir	Operación	Autoabastecimiento	Vestas	54
Eólica 3 mesas	Construcción	Autoabastecimiento		63
Eólica 3 mesas II	Construcción	Autoabastecimiento		86
La mesa	Construcción	Autoabastecimiento	Vestas	50
Ciudad Victoria	Construcción	Autoabastecimiento	Vestas	50

Fuente. Asociación Mexicana de Energía Eólica. AMEE, 2017.

Tabla 57. Capacidad Instalada de Energía Eólica en Chiapas, 2016

Chiapas 28.8 [MW]				
Proyecto	Estado del Proyecto	Modalidad del Proyecto	Fabricante	Capacidad (MW)
Arriaga	Operación	Autoabastecimiento	Vestas	29

Fuente. Asociación Mexicana de Energía Eólica. AMEE, 2017.

Tabla 58. Capacidad Instalada de Energía Eólica en San Luis Potosí, 2016

San Luis Potosí 100 [MW]				
Proyecto	Estado del Proyecto	Modalidad del Proyecto	Fabricante	Capacidad (MW)
Dominica Fase I	Operación	Autoabastecimiento	Gamesa	100

Fuente. Asociación Mexicana de Energía Eólica. AMEE, 2017.

Tabla 59. Capacidad Instalada de Energía Eólica en Oaxaca 2016

Oaxaca 2,359.97 [MW]				
Proyecto	Estado del Proyecto	Modalidad del Proyecto	Fabricante	Capacidad (MW)
La Venta	Operación	OPF	Vestas	2
La Venta II	Operación	OPF	Gamesa	83
Parques eólicos de México I (Ventosa I)	Operación	Autoabastecimiento	Gamesa	49
Parques eólicos de México II (Ventosa II)	Operación	Autoabastecimiento	Gamesa	31
Eurus, 1ra fase	Operación	Autoabastecimiento	Acciona	38
Eurus, 2da fase	Operación	Autoabastecimiento	Acciona	213
Bii Nee Stipa I	Operación	Autoabastecimiento	Gamesa	26
La Mata - La Ventosa	Operación	Autoabastecimiento	Clipper	68
Fuerza Eólica del Istmo	Operación	Autoabastecimiento	Clipper	50
Oaxaca II, III y IV	Operación	PEE	Acciona	306
La Venta III	Operación	PEE	Gamesa	103
Oaxaca I	Operación	PEE	Vestas	102
Fuerza Eólica del Istmo	Operación	Autoabastecimiento	Clipper	30
Stipa Nayaá	Operación	Autoabastecimiento	Gamesa	74
Bii Nee Stipa III (Zopiloapan)	Operación	Autoabastecimiento	Gamesa	70
Piedra Larga I	Operación	Autoabastecimiento	Gamesa	90
Eoliatec del Istmo (Bii Stinú)	Operación	Autoabastecimiento	Gamesa	164
Parques eólicos de México III (La Ventosa III)	Operación	Autoabastecimiento	Gamesa	20
Eoliatec del Pacífico	Operación	Autoabastecimiento	Gamesa	160
Bii Nee Stipa II Fase III El Retiro	Operación	Autoabastecimiento	Gamesa	74
Piedra Larga II	Operación	Autoabastecimiento	Gamesa	138
Bii Hioxo Norte	Operación	Autoabastecimiento	Gamesa	120
Bii Hioxo Sur	Operación	Autoabastecimiento	Gamesa	114
Bii Nee Stipa II Fase IV Dos Arbolitos	Operación	Autoabastecimiento	Gamesa	70
Sureste I Fase II La Mata	Operación	PIE	Alstom	102
Granja SEDENA	Operación	Autoabastecimiento	Vestas	15
Pe Ingenio	Operación	Autoabastecimiento	Acciona	50

Fuente. Asociación Mexicana de Energía Eólica. AMEE, 2017.

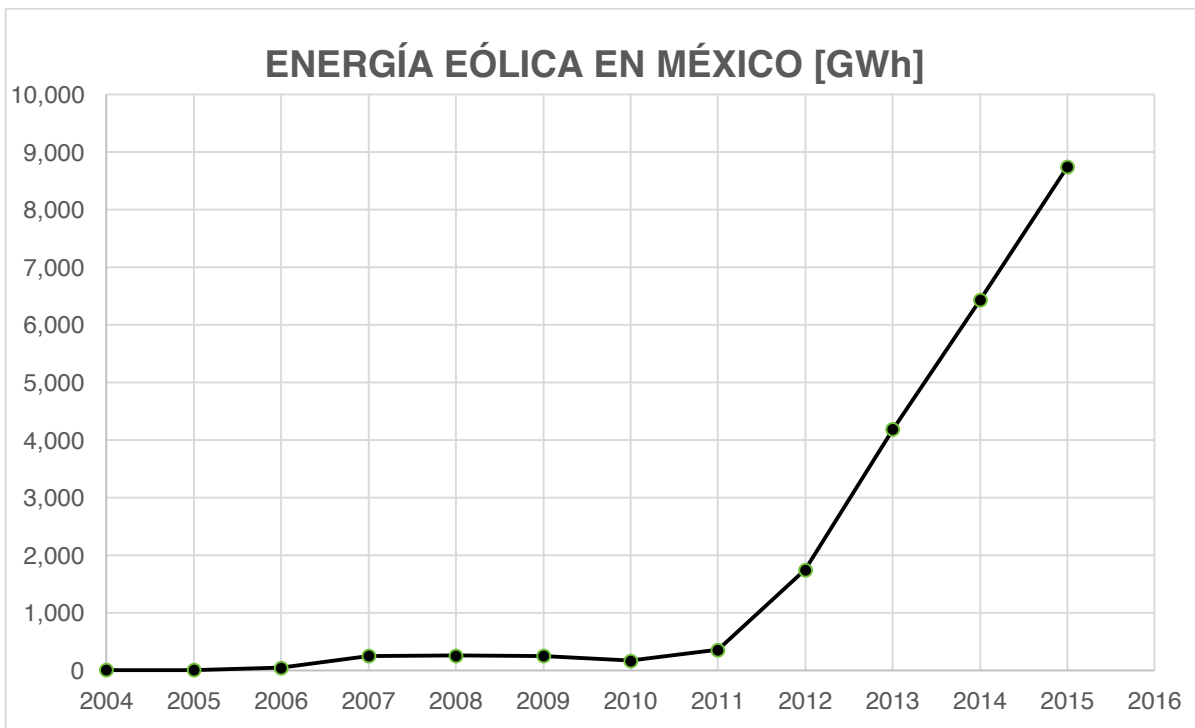
Para conocer el comportamiento histórico de la generación de energía eólica en México obtenemos los datos del reporte de avances de las energías limpias 2015 y 2016.

Tabla 60. Generación de energía en México por medio energía eólica, de 2004 a 2015

ENERGÍA EÓLICA	
TIEMPO(t)	GENERACIÓN [GWh]
2004	6
2005	5
2006	45
2007	249
2008	255
2009	249
2010	166
2011	357
2012	1,744
2013	4,185
2014	6,426
2015	8,745

Fuente: Reporte Avance de las energías limpias 2015 y 2016. SENER. Elaboración propia

Fig. 29. Generación de eléctrica por medio de energía eólica en México (2004- 2015)



2 Fuente: Reporte de la situación mundial energías renovables 2016.REN 21. Elaboración propia.

Resumen

2.2.3.7 Resumen

Tabla 61. Resumen de capacidad instalada y generación de energía en México de 2015 a 2016.

	Tecnología	Primer semestre 2015				Primer semestre 2016			
		Capacidad instalada [MW]	Capacidad instalada [%]	Generación bruta [GWh]	Generación bruta [%]	Capacidad instalada [MW]	Capacidad instalada [%]	Generación bruta [GWh]	Generación bruta [%]
Energías Limpias	Hidroeléctrica	12,453.77	18.49%	17,885.42	11.90%	12,583.99	17.72%	15,657.42	10.08%
	Eólica	2,760.32	4.10%	4,241.80	2.82%	3,193.12	4.50%	4,745.47	3.05%
	Geotérmica	898.80	1.33%	3,100.01	2.06%	925.60	1.30%	3,069.33	1.98%
	Bagazo	679.54	1.01%	890.20	0.59%	755.18	1.06%	986.58	0.63%
	Fotovoltaica	113.66	0.17%	90.92	0.06%	270.20	0.38%	94.28	0.06%
	Biogás	75.51	0.11%	99.66	0.07%	82.83	0.12%	95.02	0.06%
	Híbrido	0.06	0.00%	0.11	0.00%	0.07	0.00%	0.004	0.00%
	Cogeneración Eficiente	442.65	66.00%	1,526.71	1.02%	709.13	1.00%	2,060.12	1.33%
Otras Limpias	Nuclear	1,510.00	2.24%	6,271.96	4.17%	1,608.00	2.26%	3,857.67	2.48%
	Licor Negro	2,550.00	4.00%	18.51	0.01%	25.50	0.04%	18.51	0.01%
	Frenos Regenerativos	6.61	2.00%	2.40	0.00%	6.61	0.01%	2.40	0.00%
	Subtotal Limpias	18,966.42	28.17%	34,127.70	22.71%	20160.22	28.39%	30,586.81	20%
No renovables	No renovables	48,369.61	71.83%	116,180.59	77.29%	50856.59	71.61%	124,817.00	80%
	Total	68,336.03	100%	150,308.29	100.00%	71,016.91	100.00%	155,404.44	100.00%

Fuente: Reporte de la situación mundial energías renovables 2016. REN 21

CAPITULO 3. ANALISIS DE DATOS.

Curvas de Aprendizaje en las Principales Fuentes de Generación de Energía Renovable en México

Introducción:

En el capítulo 3 de esta investigación se utilizan los datos obtenidos del reporte de avance de las energías limpias en México en 2015 y 2016 en el cual es posible observar el comportamiento de las principales fuentes de generación de energía eléctrica por fuentes renovables en México. Entre ellas:

- El Biogás
- El Bagazo de caña
- Energía Hidroeléctrica
- Energía Geotérmica
- Energía Fotovoltaica
- Energía Eólica

Una vez obtenidos los datos de generación eléctrica desde 2004 a 2015, se aplicará el modelo de las curvas de aprendizaje, el cual nos permite conocer la experiencia acumulada a lo largo del tiempo y con ello obtener una tasa de aprendizaje de cada tecnología.

Como revisamos en la metodología de investigación, para calcular la curva de aprendizaje de cada una de las tecnologías de generación de energía por fuentes renovables, se va a utilizar un programa incluido de la paquetería de Microsoft Excel, llamada "Curvas de Aprendizaje", donde a partir del datos de generación de energía eléctrica por cada fuente renovable, en un tiempo determinado (en este caso el tiempo corresponde a un año), podemos conocer cual tecnología renovable tiene un mejor desempeño en su implementación de acuerdo a su tasa de aprendizaje.

El porcentaje que se obtenga correspondiente a la tasa de aprendizaje de cada tecnología representa la experiencia acumulada y nos permite conocer el poder de penetración en el mercado de generación eléctrica, y aunado al modelo se refleja si existen limitantes o barreras que han interrumpido el crecimiento y desarrollo de las tecnologías de producción eléctrica.

Una de las limitantes que puede ser reflejada en el modelo, son las externalidades que surgen en el contexto que impiden o potencializan el desarrollo tecnológico; Friedrich von Hayek y Milton Friedman, se refieren a las externalidades como efectos secundarios, dichos efectos son distorsiones en el mercado que limitan la asignación eficiente de recursos; sin embargo, el modelo puede captar, los efectos de la experiencia los cuales son consecuencia de, las habilidades, la creatividad, la innovación, la implementación de nuevos procedimientos y métodos etc.

La curva del aprendizaje es parte de los efectos de la experiencia, los factores causales del incremento de la productividad son:

- La especialización del trabajo,
- Los inventos y mejoras en los equipos y procesos,
- La utilización de nuevos materiales,
- El proceso de estandarización de insumos
- El rediseño de los productos.

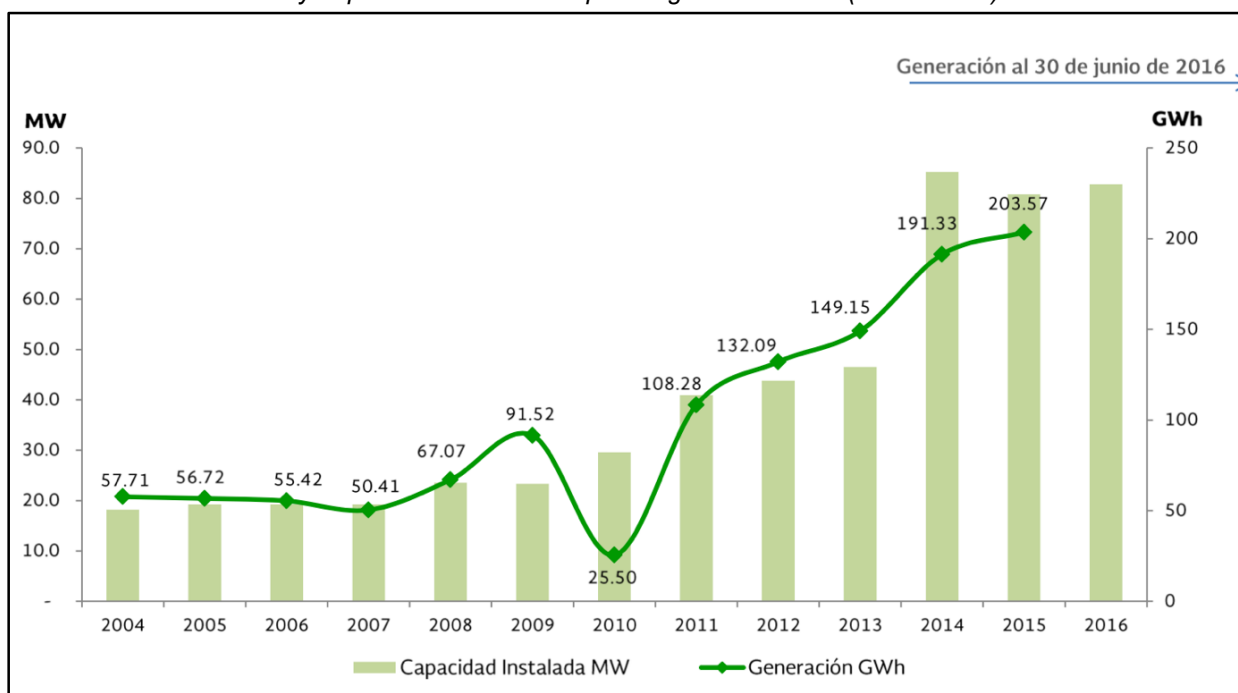
A partir de la generación eléctrica anual, se estima la curva de aprendizaje de cada tecnología partir del modelo "Wright's" $t_n = kn^r$, y se obtienen los coeficientes necesarios para calcular la tasa de aprendizaje de la generación de energía eléctrica por energía renovable en dicho periodo:

3.1 Curva de aprendizaje “Biogás en México”

El biogás en México tuvo un comportamiento constante en relación a la capacidad acumulada en los primeros 5 años, sin reflejar aumentos considerables en la capacidad instalada en México, debido a ello la generación de energía eléctrica tuvo el mismo comportamiento, manteniéndose alrededor de 50 [GWh] hasta 2009, posteriormente en 2010 aumento la capacidad acumulada y no así la generación de energía ,debido en cierta medida a que en ese año se tenían 721 biodigestores de los cuales 367 estaban en operación y 354 aún en construcción, a partir de este año el crecimiento en capacidad acumulada y de generación eléctrica ha sido ascendente.

A continuación, se presentan la gráfica de generación de energía eléctrica en donde se puede observar el comportamiento de la capacidad acumulada y el desarrollo de la generación de energía eléctrica

Fig. 30. Generación eléctrica y capacidad acumulada por biogás en México (2004- 2015).



Fuente: Reporte Avance de las energías limpias 2015 y 2016. SENER

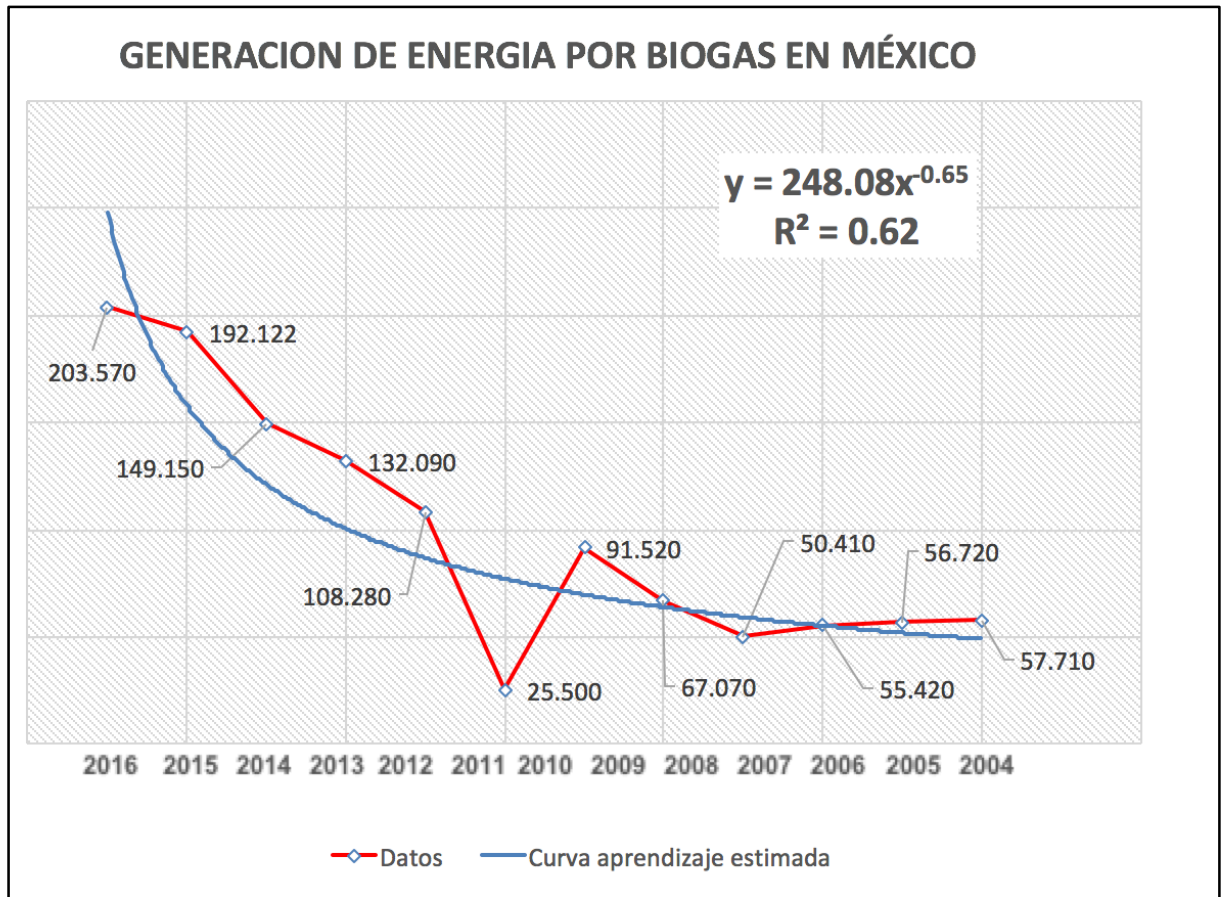
Tabla 62. Coeficientes de la curva de aprendizaje del biogás en México 2004-2015

ESTIMACIÓN A TRAVÉS DE FUNCIÓN: $\text{LOG}(t)=\text{LOG}(k)+r\text{LOG}(n)$		
	r	log(k)
coeficientes:	-0.652	2.395
error estándar coef.:	0.160	0.126
R ² - error estándar de log(t):	0.625	0.174
F - grados libertad:	16.635	10
Resultados	$k= 10^{\log(k)} =$	248.078
	$r =$	-0.652
	$p= 2^r =$	63.65%

Fuente. Elaboración Propia

En la siguiente grafica se presenta la curva de aprendizaje superpuesta a la curva de generación de energía eléctrica y a partir del modelo es posible conocer la tasa de aprendizaje de las tecnologías de generación de electricidad en México.

Fig.31. Curva de aprendizaje y Generación de energía en México por medio de biogás, de 2004 a 2015



Fuente. Elaboración Propia

Tabla 63. Generación de energía por biogás

DATOS - OBSERVACIONES	
AÑO	GENERACIÓN [GWh]
2015	203.570
2014	192.122
2013	149.150
2012	132.090
2011	108.280
2010	25.500
2009	91.520
2008	67.070
2007	50.410
2006	55.420
2005	56.720
2004	57.710

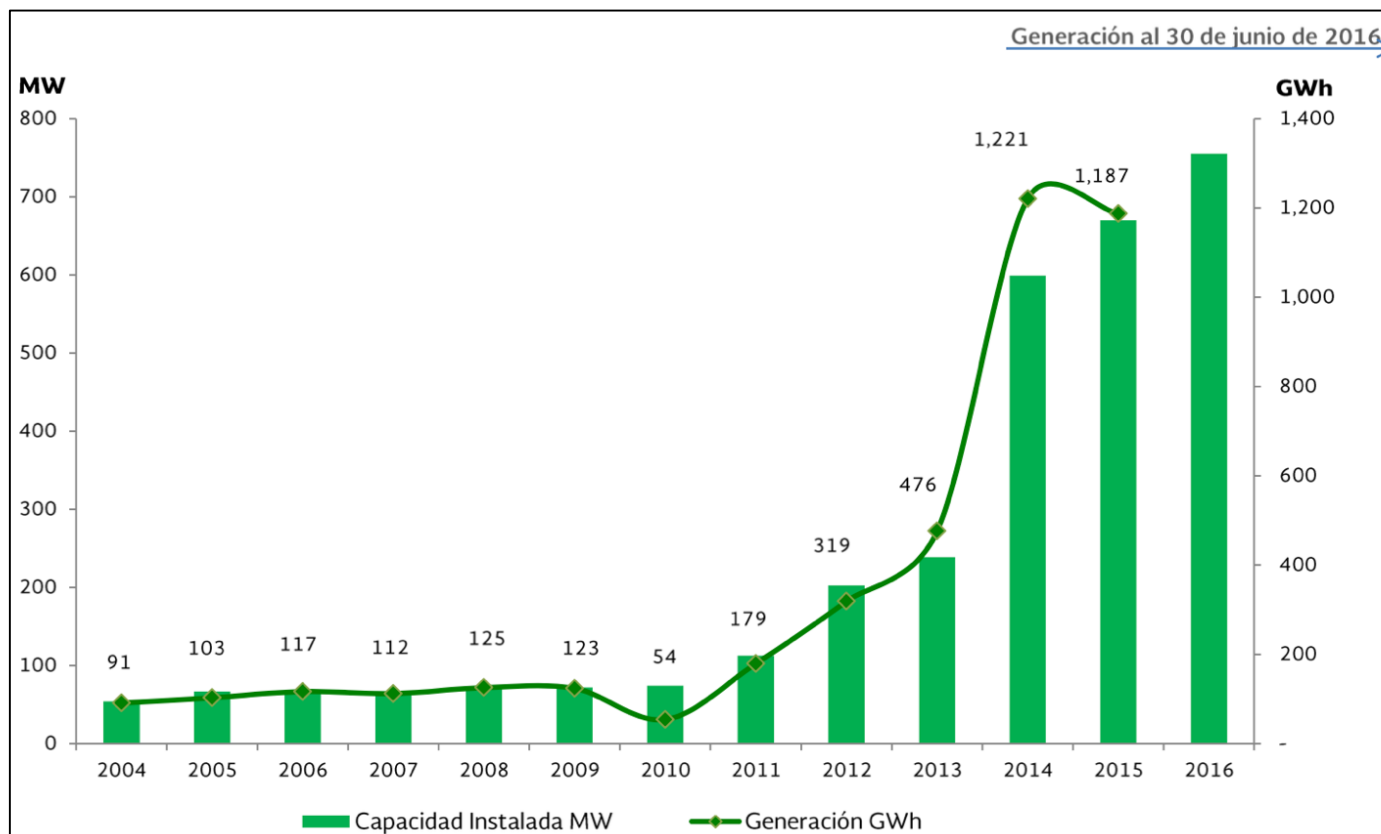
Fuente. Elaboración Propia

TASA DE APRENDIZAJE
P= 63.65%

3.2 Curva de aprendizaje Bagazo de Caña en México

El comportamiento de la capacidad instalada de la generación de electricidad por medio de bagazo de caña en México, no tuvo cambios significativos los primeros 6 años, sin embargo, es posible observar el incremento en capacidad instalada en 2014, lo que permitió generar 1,221 [GW h].

Fig. 32. Generación eléctrica y capacidad acumulada por bagazo de caña en México (2004- 2015)



Fuente: Reporte Avance de las energías limpias 2015 y 2016. SENER

La estimación de la curva de aprendizaje para el Bagazo de caña la encontramos a partir de los coeficientes obtenidos al calcular la tasa de aprendizaje de acuerdo a los datos de generación de energía eléctrica por el bagazo de caña en México de 2004 a 2015

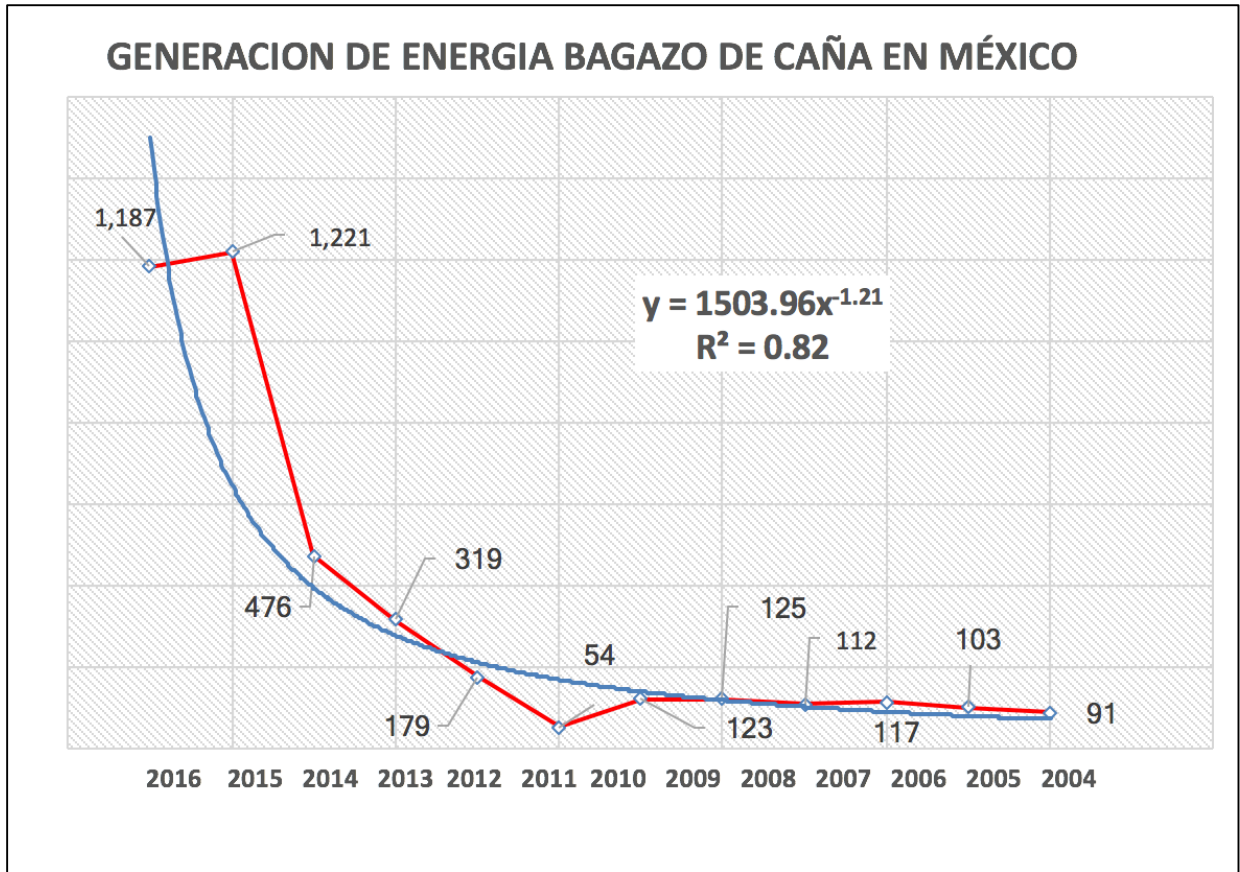
Tabla 64. Coeficientes de la curva de aprendizaje del bagazo de caña en México 2004-2015

ESTIMACIÓN A TRAVÉS DE FUNCIÓN: $\text{LOG}(t)=\text{LOG}(k)+r\text{LOG}(n)$		
	r	log(k)
coeficientes:	-1.212	3.177
error estándar coef.:	0.180	0.142
R ² - error estándar de log(t):	0.819	0.196
F - grados libertad:	45.118	10
Resultados	$k= 10^{\text{log}(k)} =$	1503.957
	$r =$	-1.212
	$p= 2^r =$	43.16%

Fuente. Elaboración Propia

La generación de energía por bagazo de Caña se observa en la siguiente grafica donde se presenta la curva de aprendizaje superpuesta a la curva de generación de energía eléctrica y a partir del modelo es posible conocer la tasa de aprendizaje del bagazo de caña como una tecnología de generación renovable en México

Fig. 33. Curva de aprendizaje y Generación de energía en México por bagazo de caña, de 2004 a 2015



Fuente. Elaboración Propia

Tabla 65. Generación de energía por bagazo de caña

DATOS - OBSERVACIONES	
AÑO	GENERACIÓN [GWh]
2015	1,187
2014	1,221
2013	476
2012	319
2011	179
2010	54
2009	123
2008	125
2007	112
2006	117
2005	103
2004	91

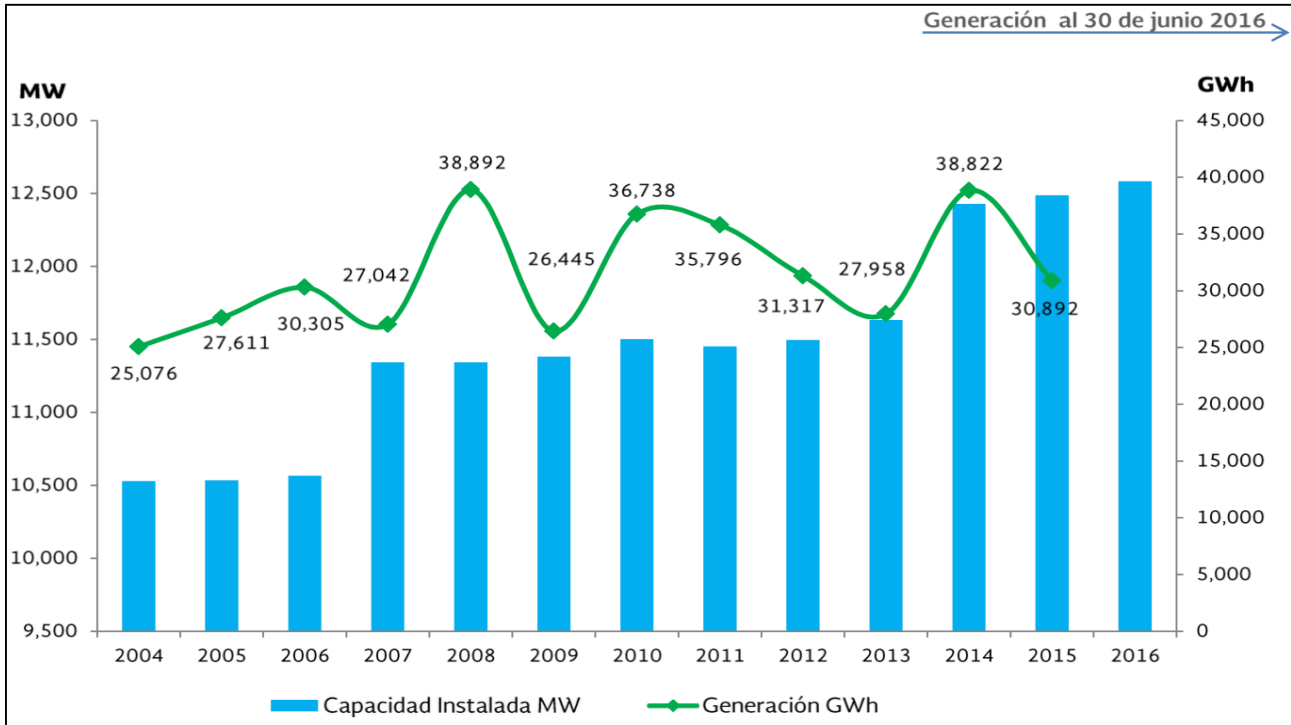
TASA DE APRENDIZAJE
P= 43.16%

Fuente. Elaboración Propia

3.3 Curva de aprendizaje “Energía Hidroeléctrica México”

Actualmente la energía hidroeléctrica encabeza la lista como la principal tecnología de generación de energía eléctrica con mayor participación en producción eléctrica por fuentes renovables, sin embargo, debido a que el incremento de la especialización tiene un punto de máxima productividad, es posible proponer que existe un nivel a partir del cual, el incremento de especialización o simplificación del trabajo en generación de energía eléctrica, da como resultado una disminución de la productividad o un estancamiento en el desarrollo tecnológico.

Fig. 34. Generación hidroeléctrica y capacidad acumulada (2004- 2015).



Fuente: Reporte Avance de las energías limpias 2015 y 2016. SENER

En la gráfica es posible destacar las diferentes fluctuaciones que existen al respecto de la generación eléctrica, el cual no está relacionado directamente al cambio en la capacidad instalada, los cambios bruscos que se observan en la generación hidroeléctrica se atribuyen más a la vulnerabilidad que existe de la industria a los fenómenos naturales, lo que merman la generación de electricidad en determinados periodos.

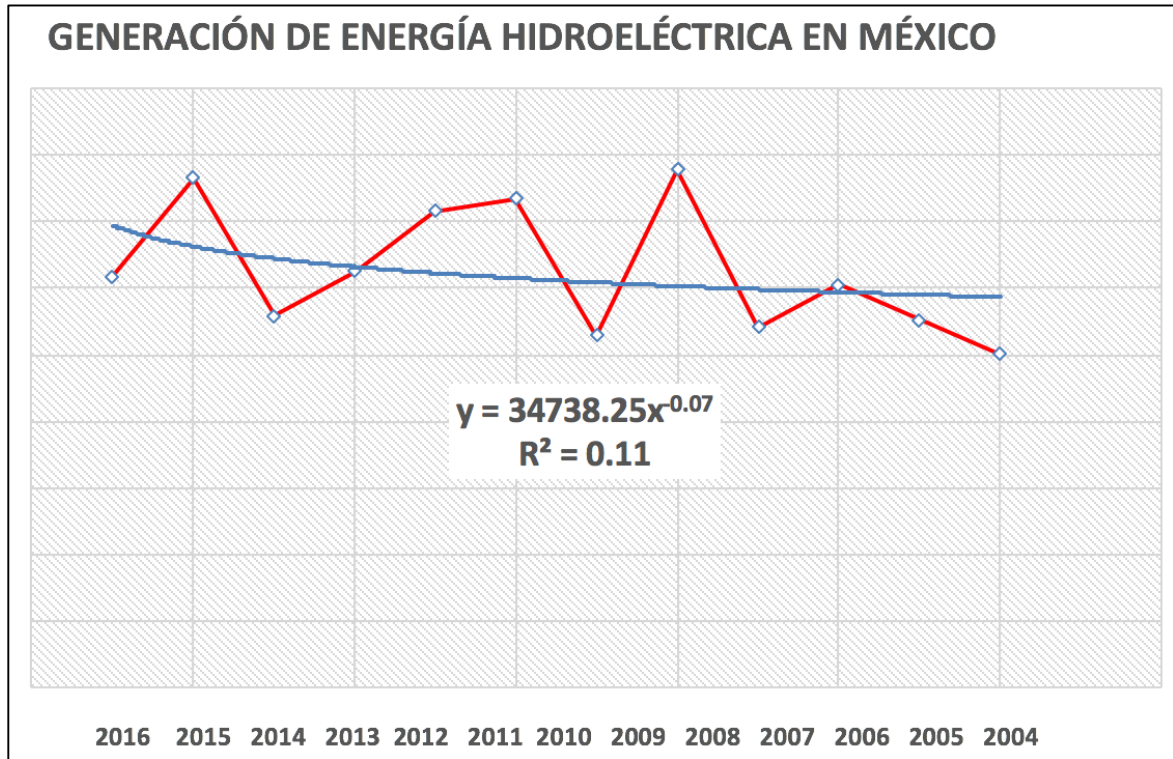
Tabla 66. Coeficientes de la curva de aprendizaje de la energía hidroeléctrica en México 2004-2015

ESTIMACIÓN A TRAVÉS DE FUNCIÓN: $\text{LOG}(t)=\text{LOG}(k)+r\text{LOG}(n)$		
	r	log(k)
coeficientes:	-0.068	4.541
error estándar coef.:	0.061	0.048
R ² - error estándar de log(t):	0.112	0.066
F - grados libertad:	1.259	10
Resultados	$k= 10^{\text{log}(k)} =$	34738.255
	$r =$	-0.068
	$p= 2^r =$	95.40%

Fuente. Elaboración Propia

Al superponer la curva de aprendizaje a la curva de generación hidroeléctrica, no refleja una tendencia evidente, ya que existen periodos con mayor generación y periodos con menor producción energética, motivo por el cual el modelo se limita y la elevada tasa de aprendizaje, sugiere que la industria hidroeléctrica es una tecnología madura con menor capacidad de desarrollar habilidades y aprendizaje que permita evolucionar y aumentar la probabilidad para continuar siendo líder en su participación futura de generación energética renovable.

Fig. 35. Curva de aprendizaje y Generación de energía hidroeléctrica en México, de 2004 a 2015



Fuente. Elaboración Propia

Tabla 67. Generación de energía hidroeléctrica

DATOS – OBSERVACIONES	
AÑO	GENERACIÓN [GWh]
2015	30,892
2014	38,288
2013	27,958
2012	31,317
2011	35,796
2010	36,738
2009	26,445
2008	38,892
2007	27,042
2006	30,305
2005	27,611
2004	25,076

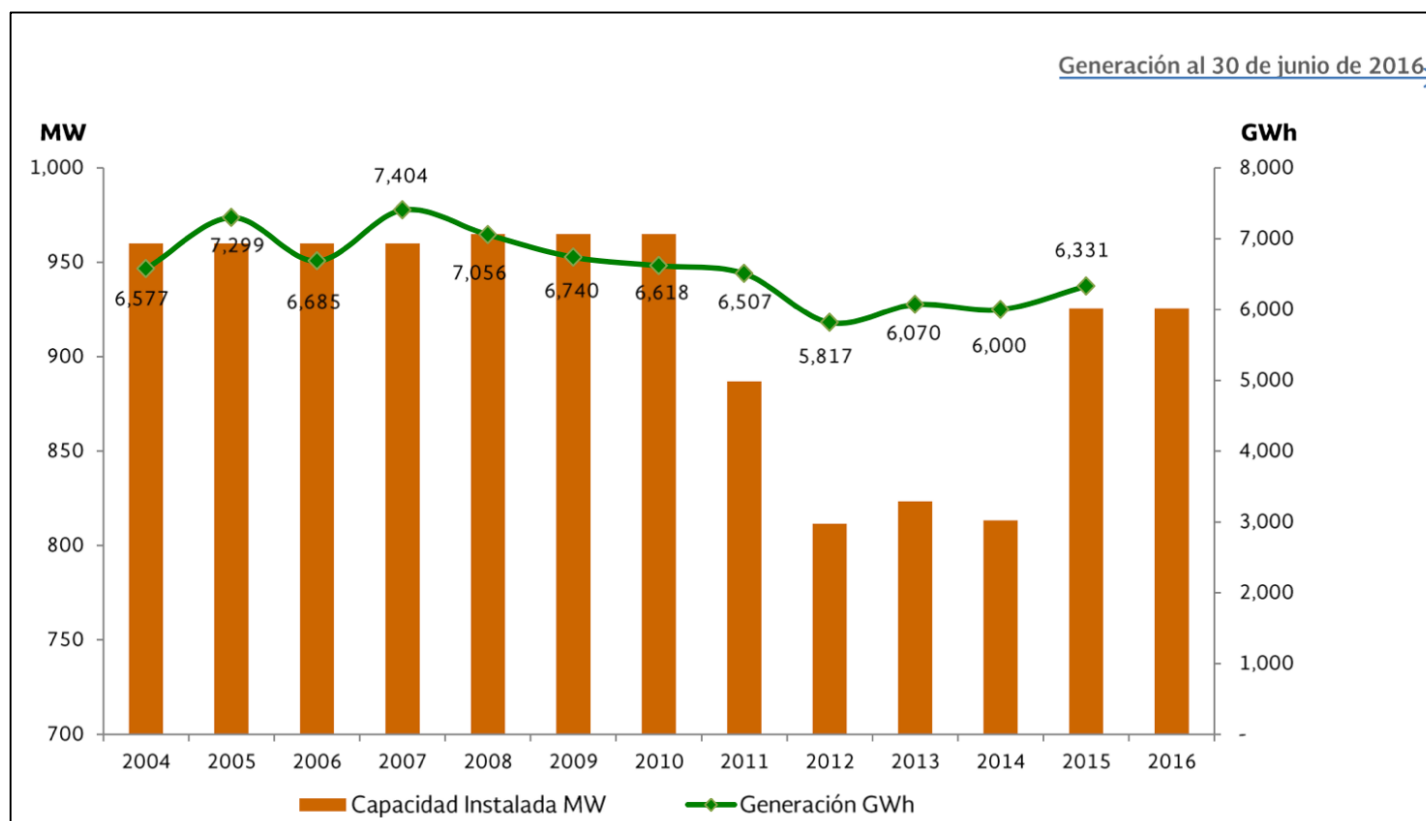
TASA DE APRENDIZAJE
P= 95.4%

Fuente. Elaboración Propia

3.4 Curva de aprendizaje “Energía Geotérmica en México”

La energía geotérmica no ha mostrado en los 11 años de análisis un repunte significativo, se ha mantenido la generación eléctrica incluso en el periodo de 20011 a 2015 en el cual disminuyo la capacidad instalada en México, la generación no se vio afectada drásticamente.

Fig. 36. Generación eléctrica geotérmica y capacidad acumulada en México (2004- 2015).



Fuente: Reporte Avance de las energías limpias 2015 y 2016. SENER.

Al obtener los coeficientes correspondientes para calcular la curva de aprendizaje, se observa que la generación energética por medio de fuentes geotérmicas, tiene el más alto porcentaje en la tasa de aprendizaje de todas las tecnologías, debido a que no cumple con los supuestos del modelo, que se refiere al aumento de generación a medida que pasa cada periodo, inclusive, la generación energética producida en 2015 es menor a la generación energética que se obtuvo en el primer periodo de análisis correspondiente a 2004.

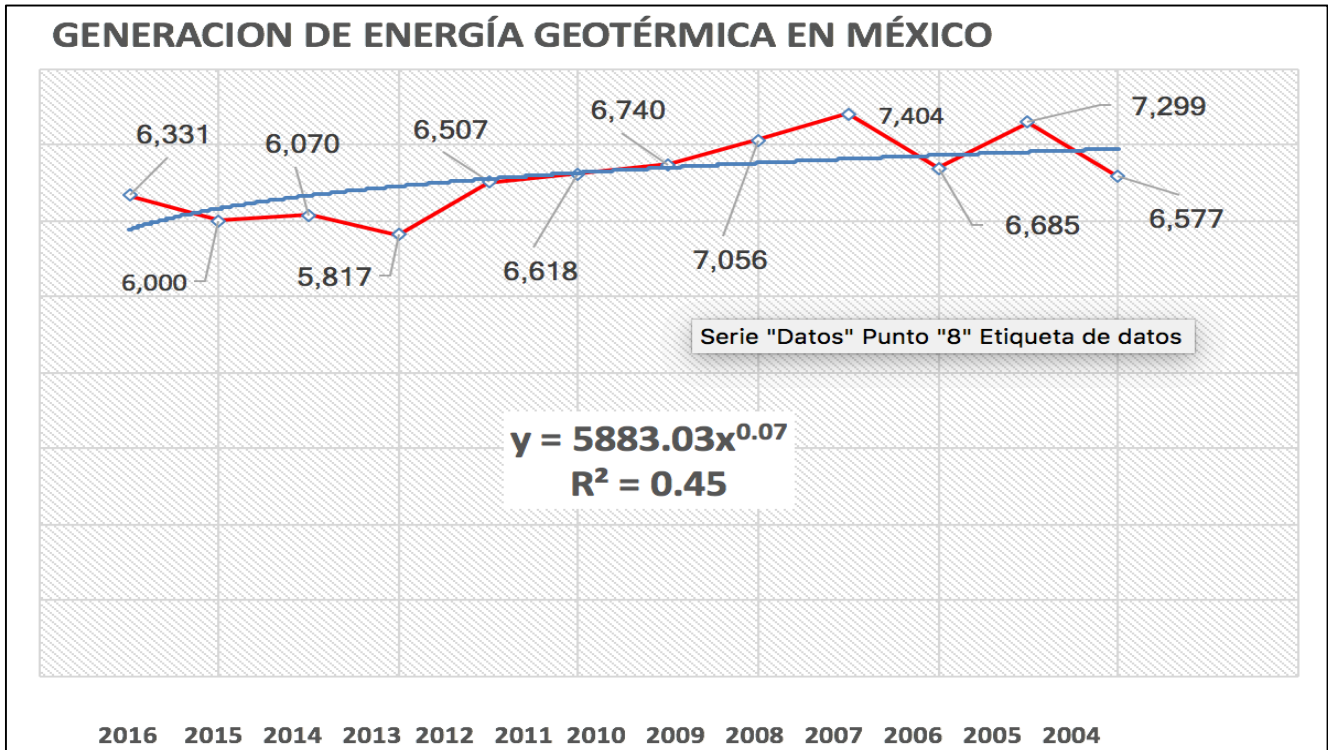
Tabla 68. Coeficientes de la curva de aprendizaje de la energía geotérmica en México 2004-2015

ESTIMACIÓN A TRAVÉS DE FUNCIÓN: $\text{LOG}(t)=\text{LOG}(k)+r\text{LOG}(n)$			
	r	log(k)	
coeficientes:	0.067	3.770	
error estándar coef.:	0.023	0.018	
R ² - error estándar de log(t):	0.450	0.025	
F - grados libertad:	8.183	10	
Resultados	$k= 10^{\text{log}(k)} =$	5883.029	
	$r =$	0.067	
	$p= 2^r =$	104.74%	

Fuente. Elaboración Propia.

La tendencia que muestra la curva de aprendizaje es ligeramente descendente; la evolución en relación a la generación energética por fuentes geotérmicas se ve mermada debido a los altos costos de implementación de proyectos geotérmicos, además de las desventajas que tiene la generación centralizada debido a las pérdidas en transmisión, por lo que el desarrollo de tecnologías alrededor de esta industria es indispensable para permanecer competitiva en la generación de energía por fuentes renovables en México.

Fig. 37. Curva de aprendizaje y Generación de energía geotérmica en México, de 2004 a 2015



Fuente. Elaboración Propia

Tabla 68. Coeficientes de la curva de aprendizaje de la energía geotérmica en México 2004-2015

DATOS - OBSERVACIONES	
AÑO	GENERACIÓN [GWh]
2015	6,331
2014	6,000
2013	6,070
2012	5,817
2011	6,507
2010	6,618
2009	6,740
2008	7,056
2007	7,404
2006	6,685
2005	7,299
2004	6,577

TASA DE APRENDIZAJE
P= 104.74%

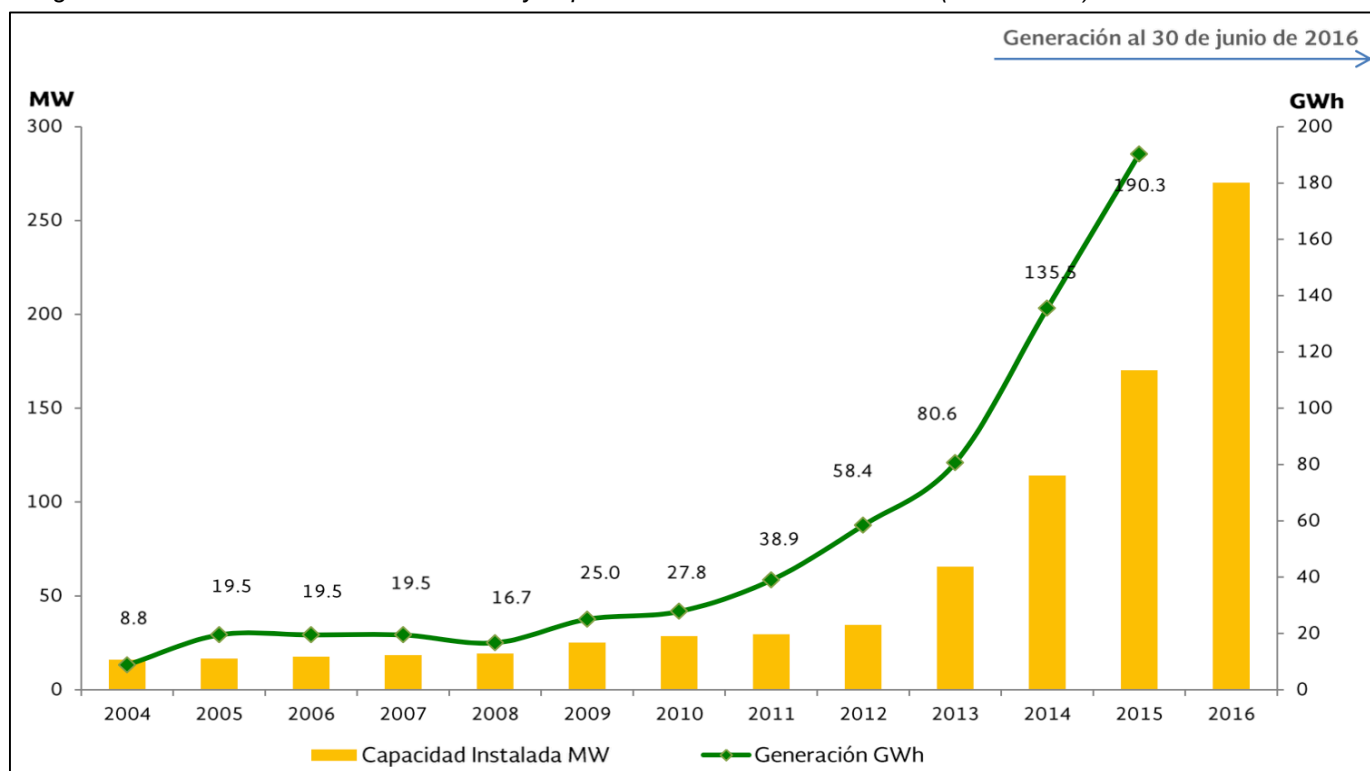
Fuente. Elaboración Propia

3.5 Curva de aprendizaje “Energía Fotovoltaica México”

La generación fotovoltaica a finales del 2014 estaba limitada a únicamente 8 [GWh], y el comportamiento en los siguientes tres años fue constante generando 19.5 [GWh respectivamente].

Las predicciones alrededor de la tecnología fotovoltaica muestra que es probable que el módulo solar fotovoltaico seguirá disminuyendo en el costo de la tasa de aproximadamente el 10%. (J. Doyne Farmer and Francois Lafond ,2015). Los resultados de la gráfica muestra una evolución en relación a la capacidad acumulada que amplía el potencial para penetrar de manera competitiva en la matriz energética de generación eléctrica por fuentes fotovoltaicas en México.

Fig. 38. Generación eléctrica fotovoltaica y capacidad acumulada en México (2004- 2015).



Fuente: Reporte Avance de las energías limpias 2015 y 2016. SENER

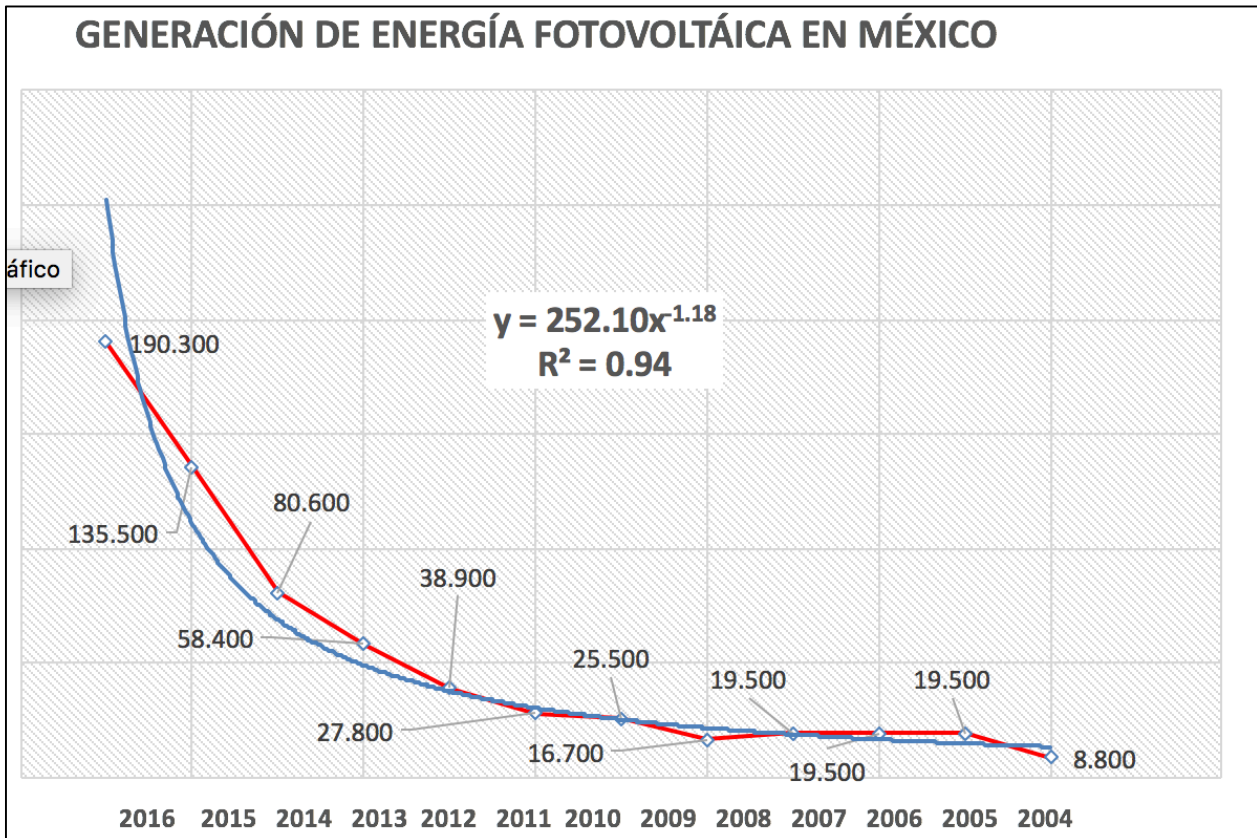
Tabla 70. Coeficientes de la curva de aprendizaje de la energía fotovoltaica en México 2004-2015

ESTIMACIÓN A TRAVÉS DE FUNCIÓN: $\text{LOG}(t)=\text{LOG}(k)+r\text{LOG}(n)$		
	r	log(k)
coeficientes:	-1.182	2.402
error estándar coef.:	0.092	0.072
R ² - error estándar de log(t):	0.943	0.100
F - grados libertad:	166.483	10
Resultados	$k= 10^{\text{log}(k)} =$	252.102
	$r =$	-1.182
	$p= 2^r =$	44.09%

Fuente. Elaboración Propia

En la gráfica que se muestra a continuación es posible observar el comportamiento de la curva de aprendizaje con relación a la generación energética por fuentes fotovoltaicas, donde se destaca el valor de 0.94 como error estándar de logaritmo de (t), lo que refleja que el valor R^2 , se apega significativamente al modelo y la tendencia a continuar acumulando experiencia.

Fig. 39 Curva de aprendizaje y Generación de energía fotovoltaica en México, de 2004 a 2015



Fuente. Elaboración Propia

Tabla 71. Generación de energía fotovoltaica.

DATOS - OBSERVACIONES	
AÑO	GENERACIÓN [GWh]
2015	190.30
2014	135.50
2013	80.60
2012	58.40
2011	38.90
2010	27.80
2009	25.50
2008	16.70
2007	19.50
2006	19.50
2005	19.50
2004	8.80

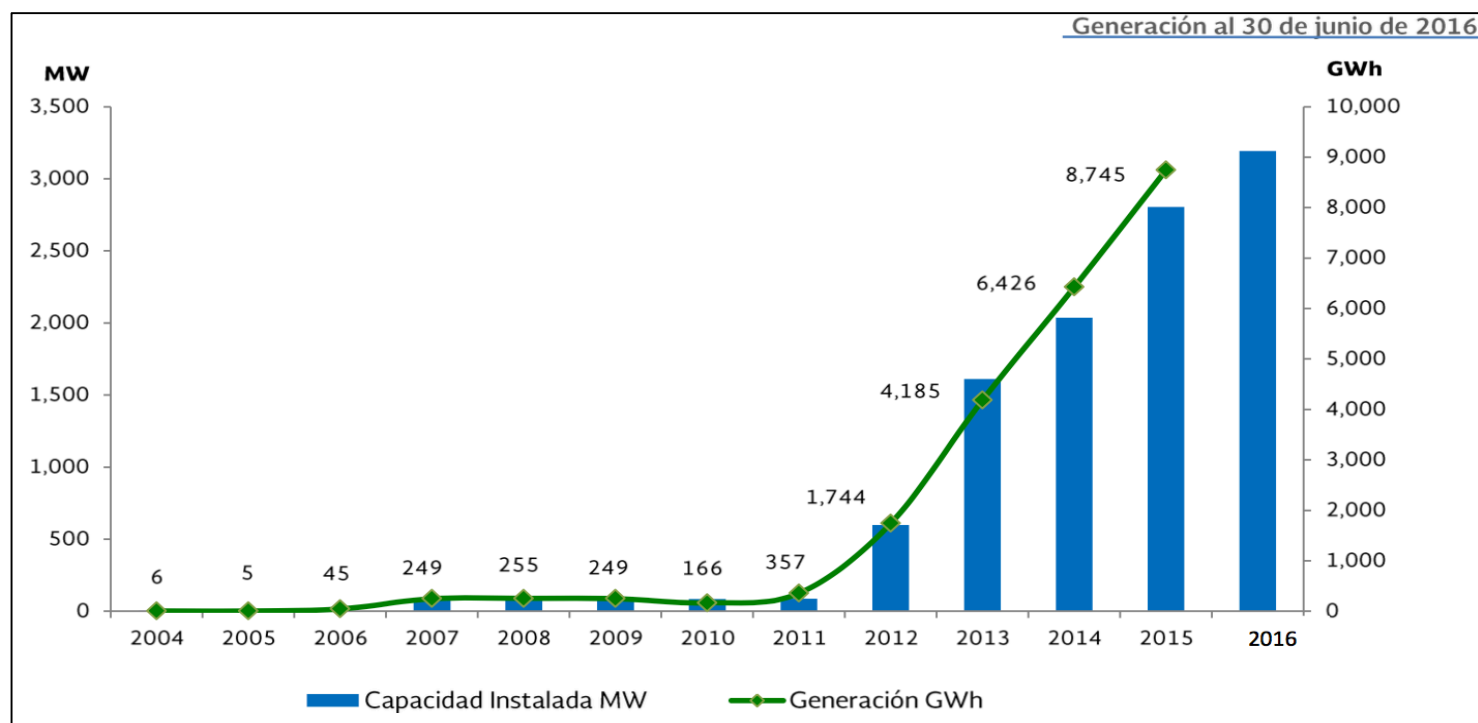
TASA DE APRENDIZAJE
P= 44.09%

Fuente. Elaboración Propia

3.6 Curva de aprendizaje “Energía Eólica en México”

La energía Eolica muestra el mejor comportamiento relacionado a la generación de energía eléctrica por medio del viento, ya que a partir de 2011 el aumento en la capacidad instalada ha aumentado considerablemente pasando de 6[GWh] generados en 2004 a 8,745[GWh] en 2015.

Fig. 40. Generación de energía en México por medio energía eolica, de 2004 a 2015



Fuente: Reporte Avance de las energías limpias 2015 y 2016. SENER

La tasa de aprendizaje del 13.9 % nos indica que el desarrollo tecnológico en el sector eólico tiene un escenario favorable para su implementación en México, y la capacidad acumulada a finales de 2017 alcanzo los 3,500 [MW] instalados, lo que refleja la tendencia a competir de manera importante y disminuir la brecha que existe entre energía hidráulica con 17 % y la eolica con 5 % en la cantidad de capacidad instalada para generar de energía por fuentes renovables en México.

Resultados Obtenidos “Energía Eólica en México”

Tabla 72. Coeficientes de la curva de aprendizaje de la energía eolica en México 2004-2015

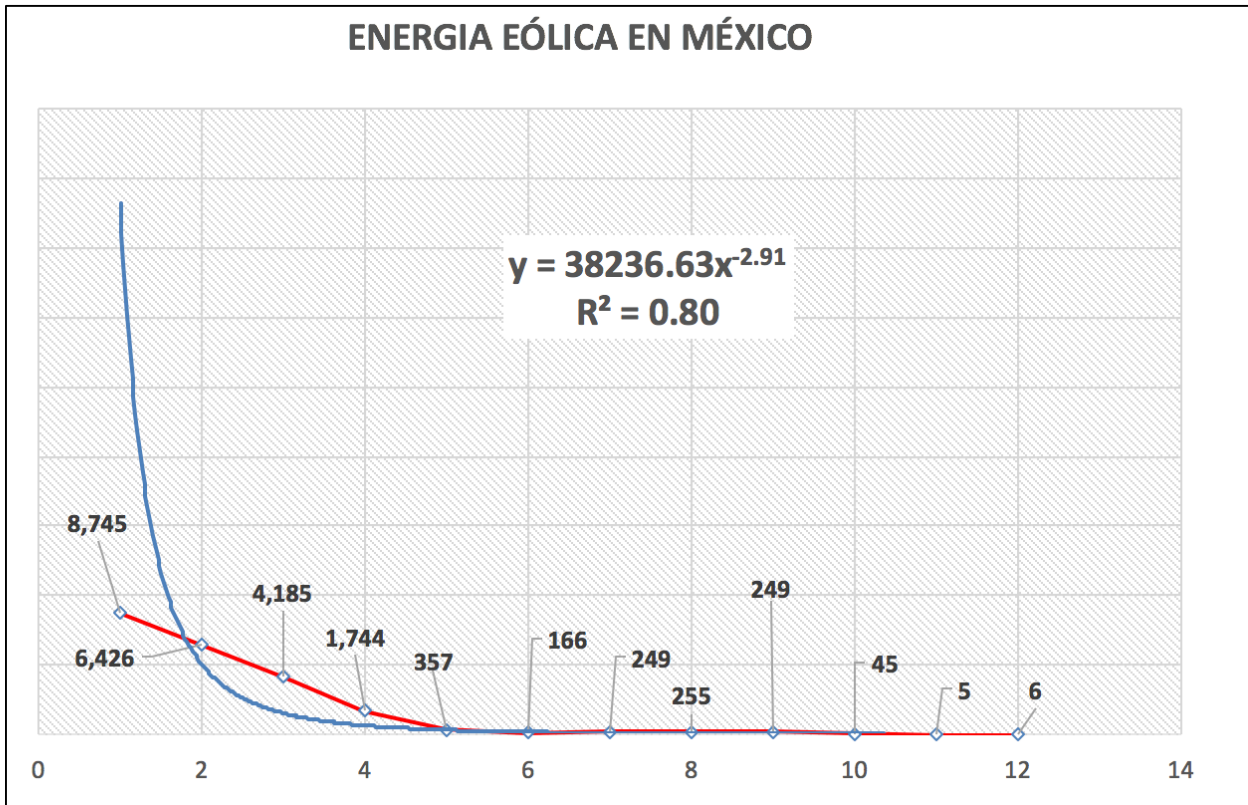
ESTIMACIÓN A TRAVÉS DE FUNCIÓN: $\text{LOG}(t)=\text{LOG}(k)+r\text{LOG}(n)$			
	r	log(k)	
coeficientes:	-2.912	4.582	
error estándar coef.:	0.466	0.368	
R ² - error estándar de log(t):	0.796	0.508	
F - grados libertad:	38.968	10	
Resultados	$k= 10^{\text{log}(k)} =$	38236.631	
	$r =$	-2.912	
	$p= 2^r =$	13.29%	

Fuente. Elaboración Propia

El modelo aplicado a los datos de generación eléctrica por fuentes eólicas en México sigue adecuadamente los supuestos de la curva de aprendizaje ya que a medida que se repite un periodo

igual de tiempo la generación de electricidad por medio de energía eólica aumenta, lo que sugiere que el aprendizaje en la industria se va acumulando y aumenta la capacidad de penetración en el mercado al tener mayor participación en la matriz energética a consecuencia del desarrollo de la industria eólica.

Fig. 41. Curva de aprendizaje y Generación de energía eólica en México, de 2004 a 2015



Fuente. Elaboración Propia

Tabla 73. Generación de energía eólica

DATOS - OBSERVACIONES	
AÑO	GENERACIÓN [GWh]
2015	8,745
2014	6,426
2013	4,185
2012	1,744
2011	357
2010	166
2009	249
2008	255
2007	249
2006	45
2005	5
2004	6

TASA DE APRENDIZAJE
P= 13.29%

Fuente. Elaboración Propia

3.7 Análisis de Resultados Final

A continuación, se muestra un resumen de las tasas de aprendizaje calculadas en esta investigación en donde es posible determinar la tecnología que muestra el mejor comportamiento en relación a la experiencia acumulada que le permite producir más energía eléctrica cada vez que el periodo se repite.

Recordemos que:

- Un porcentaje bajo en la curva de aprendizaje significa que el tiempo en el desarrollo de capacidades energéticas por fuentes renovables descienden más rápidamente.
- Un porcentaje más alto de la curva de aprendizaje implica que el tiempo en el desarrollo de capacidades energéticas por fuentes renovables descienden más lentamente

Fig. 42. Resumen de resultados de tasas de aprendizaje de tecnologías de generación energética por fuentes renovables 2004-2015

RESUMEN DE RESULTADOS	
TECNOLOGÍAS PARA GENERACION DE ENERGIA POR FUENTES RENOVABLES	TASA DE APRENDIZAJE POR TECNOLOGÍA [%]
BIOGAS	63.65
BAGAZO DE CAÑA	43.16
GEOTERMICA	104.74
HIDROELECTRICA	95.4
FOTOVOLTAICA	44.09
EOLICA	13.29

Fuente. Elaboración Propia

Las tasas de aprendizaje con un porcentaje competitivo son el bagazo de caña, la energía fotovoltaica y la energía eólica, lo que permite predecir una difusión tecnológica y crecimiento económico más acelerado en dichas tecnologías.

El resultado más importante en el cálculo de las curvas de aprendizaje, es el impacto y el poder de penetración en el mercado y la incorporación a la matriz energética nacional.

Encontramos que la tasa de aprendizaje es lenta en sectores de energía geotérmica e hidroeléctrica por distintas razones, principalmente es reflejo del comportamiento oscilante en generación eléctrica, además de los altos costos que implica el desarrollo de nueva capacidad instalada de dichas tecnologías para aumentar su participación en la generación energética

La tasa de aprendizaje más acelerada ha sido en el sector eólico principalmente por la evolución tecnológica y la disminución de costos en la implementación de proyectos de generación eléctrica y con ello, ha asegurado un adecuado retorno de inversión para el sector empresarial.

Conclusiones

Los resultados obtenidos a partir del análisis de los índices energéticos, demuestran el amplio potencial de las energías renovable y comportamiento de la generación de energía eléctrica en el mundo y en México, principalmente en la energía eólica y solar por su constante crecimiento y aumento en la participación de generación de energía eléctrica, ofreciendo la alternativa más idónea en la generación de energía eléctrica por fuentes limpias.

La metodología empleada a partir de las curvas de aprendizaje, es adecuada ya que se aplica un modelo determinístico que revela el impacto que surge a partir de la experiencia acumulada con el paso del tiempo, a consecuencia del aprendizaje, surge el progreso tecnológico y avances científicos como función del tiempo, además el análisis bibliográfico indica que en hay pocas investigaciones referentes a curvas de aprendizaje en México y es un modelo que ha sido útil a lo largo de la historia e la toma de decisiones y ha permitido elaborar propuestas que se han realizado recientemente a partir de investigaciones predictivas con curvas de aprendizaje en materia de energía en el resto del mundo.

En esta investigación fue posible reconocer las tecnologías maduras para la generación de energía eléctrica en México y las limitantes que existe en la implementación de proyectos de energía hidráulica y geotérmica principalmente, como son los altos costos y la desventaja de la centralización de la fuente de energía, teniendo altas perdidas en transporte energético y con ello se reduce su eficiencia.

A partir del análisis de los resultados obtenidos es posible ubicar a las tecnologías de generación de energía eléctrica, con mayor penetración en el mercado en México en el periodo de 2004 a 2015, obteniendo el mejor desempeño la energía eolica con una tasa del 13,3 % es considerado el candidato más fuerte para satisfacer la demanda de electricidad nuestro país.

Por ello se recomienda un nuevo esquema en el cual se logre democratizar la energía eléctrica y el consumidor puede contribuir con las metas de reducción de emisiones nacionales y generar su propio negocio.

Para cubrir la demanda de bienes y servicios energéticos por fuentes de energía renovable se revela un importante desafío en el acondicionamiento de la infraestructura para una adecuada implementación de los proyectos, por ello es necesario desarrollar nuevo conocimiento en áreas energéticas principalmente en investigación en generación eléctrica por fuentes renovables, cobertura eléctrica, en el almacenamiento de energía a gran escala, reducir la baja eficiencia que ocasiona las fuentes de energía renovable intermitentes como la eólica y la solar y muy importante fomentar desarrollo regional , atendiendo una adecuada organización de parques industriales ,clúster , y polos de desarrollo.

Es necesario un nuevo modelo de generación eléctrica y eliminar el paradigma de las fuentes centralizadas de producción para cambiar el régimen de máxima potencia a un régimen de máximo consumo, con una red inteligente de plantas de generación distribuida.

Cambiando sistemas contaminantes por sistemas limpios a través de redes de distribución inteligentes, integrando tecnologías informáticas en la red y ajustando los picos de demanda ya que la electricidad no se almacena fácil y rápidamente a gran escala por ello utilizar tecnologías de redes inteligentes ajustaran el suministro en tiempo real y una intercomunicación que evitara el desperdicio de energía.

Para aumentar la participación de la energía renovable en la matriz energética, la investigación sugiere reducir subsidios a hidrocarburos y a la energía nuclear ya que, con ello se podría aumentar los incentivos para el uso de recursos renovables, y así promover la implementación de proyectos amigables con el medio ambiente, debido a que su desarrollo no solo es un problema económico, tecnológico o social, principalmente es un problema de financiamiento para el desarrollo inicial.

Referencias

- J. Tilindisa, V. Kleiza** (2017). Learning curve parameter estimation beyond traditional statistics. Elsevier / Science Direct. 768 – 783.
- Farmer J. Doyne y Francois Lafond** (2016). How predictable is technological progress? Research Policy, Elsevier, Science Direct, 647-665
- Lin Boqiang, Él Jiaxin** (2016). Curvas para aprovechar la energía de la biomasa de aprendizaje: ¿Qué podría explicar la reducción de su costo durante la expansión de China?, Elsevier, Energy Policy. Vol. 99,280-288.
- Björn Nykvis y Måns Nilsson** (2015). La rápida caída de los costos de los paquetes de baterías para vehículos eléctricos. Nature, Climate Change, 329- 332.
- Departamento de Ingeniería y Política Pública Universidad Carnegie** (2015). Curvas de aprendizaje, tecnologías de suministro de electricidad. Elsevier / Energy Policy. 198-218
- Levente Malyszka, Attila Pema** (2014). Predicting future performance by learning curves. Elsevier, Energy Policy, Science Direct ,368-376.
- Jamasb Tooraj** (2009). Cambio técnico teoría y curvas de aprendizaje: modelos de progreso en tecnologías Generación Eléctrica, IAEE, The Energy Journal, Vol. 28, No. 3, 51 – 70.
- Kramer G.J y Martin Haigh** (2009). No quick switch to low-carbon energy. Nature. Macmillan publishers. Vol. 462, 568-569
- E. Martinez, F. Sanz, S. Pellegrini, E. Jiménez, J. Blanco** (2008). Life cycle assessment of a multimegawatt wind turbine. Elsevier / Science Direct.
- Alan Mc Donald** (2001). Tasa de aprendizaje de tecnologías de energía. Energy Policy, 255-261.
- Marchetti**, (1980). La sociedad como un sistema de aprendizaje: el descubrimiento, la invención y la innovación ciclos. Scopus
- C. Marchetti** (1977.). Modelo de sustitución de energía primaria. En la interacción entre la energía y la sociedad. Prevision tecnológica y Cambio Social.
- E. Garza Toledo. J. Melgoza. L. de la Garzal** (1994). Historia de la industria Eléctrica en México, UAM.1994.
- Ernst Berndt** (1991). The practice of econometrics: Classic and contemporary. Massachusetts of Technology the National Bureau of Economics Research, 60- 100.
- José Antonio Guillén Marco** (1990). Cogeneración y Gas Natural. Sistemas de Cogeneración. Ena-gas.
- Juan Carlos Campos**
- L. Corona** (2010). Innovación ante la sociedad del conocimiento. Disciplinas y enfoques, Universidad Nacional Autónoma de México, Plaza y Valdés, Editores: pp.215-234

Referencias:

- L. Corona. M. C del Valle. J. Jasso. G. Sánchez Daza** (2005). Innovación en la sociedad del conocimiento. Evolución y Perspectivas para México. 9-40. Consultado 1 de diciembre en:
https://www.researchgate.net/publication/305995522_Enfoques_y_caracteristicas_de_la_sociedad_del_conocimiento_Evolucion_y_perspectivas_para_Mexico
- J. Jasso. (2005)**. La dimensión evolutiva de la innovación: Un rumbo necesario de la política científica, tecnológica y de innovación. Economía y Sociedad. Vol. X. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 99-119, Consultado diciembre 2017 en:
https://www.researchgate.net/publication/239554927_La_Dimension_Evolutiva_de_la_Innovacion_un_rumbo_necesario_de_la_politica_cientifica_tecnologica_y_de_innovacion
- J. Jasso. R. Ortega** (2007), Acumulación de capacidades tecnológicas locales en un grupo industrial siderúrgico en México, Research Gate. Núm. 223. 69 – 89, en:
https://www.researchgate.net/publication/26494090_Acumulacion_de_capacidades_tecnologicas_locales_en_un_grupo_industrial_siderurgico_en_Mexico
- J. Jasso. A. Torres.** (2017). Capacidades Científico y tecnológicas en China y México. El Nuevo Rol de las universidades. Research Gate consultado 1 de diciembre en:
https://www.researchgate.net/publication/321035469_Capacidades_cientificas_y_tecnologicas_en_China_y_Mexico_El_nuevo_rol_de_las_universidades
- J. Jasso.** (1999). La madurez tecnológica en la industria petroquímica mundial. Research Gate. Revista de la CEPAL. 119-137 consultado 1 de diciembre en:
https://www.researchgate.net/publication/242720256_Technological_maturity_in_the_world_petrochemical_industry
- F. Ruiz. (2016)**, El nuevo modelo energético y su implementación. PEMEX. Consultado 1 de diciembre en
<http://www.apfpasa.ch/eventos/2016-Asamblea-Cancun/pdf/programa/conferencias/lunes/Conferencia-Ruiz-2016-04-29-sp-original.pdf>
- REN 21.** Red mundial de políticas de energía renovable (2017), Consultado 1 de diciembre de 2017, <http://www.ren21.net/>
- AMDEE,** Asociación Mexicana de Energía Eólica (2016). Panorama General de la Energía Eólica en México. México, D. F. Consultado el 1 de diciembre de 2017, en: <http://www.amdee.org/>
- CFE,** Comisión Federal de Electricidad (2012a). Conoce CFE, Energía Renovable, Energía Eólica. México, D. F. Consultado el 9 de noviembre de 2011, en:
http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/Desarrollo_Sustentable/energiarenovable/Paginas/Energiaeolica.aspx

Referencias:

CRE (2010). Comisión Reguladora de Energía. Contrato de Interconexión para Centrales de Generación de Energía Eléctrica con Energía Renovable o Cogeneración Eficiente. México, D.F. Consultado el 1 dic de noviembre de 2016, en:

<http://www.cre.gob.mx/documento/1328.pdf>

CRE (2013). Tabla de permisos de generación e importación de energía eléctrica administrados al 31 de marzo de 2013. Consultado el 1 de noviembre de 2017, en:

www.cre.gob.mx/documento/1565.xls

CRE (2014). El papel de la CRE en el desarrollo de las energías renovables. Consultado el 3 de enero de 2014, en

<http://www.cre.gob.mx/documento/1913.pdf>

Gobierno de la República (2013). Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018. México. D. F. Consultado el 15 de febrero de 2014, en: <http://pnd.gob.mx/>

GWEC (2015). Global Wind Energy Council, Global Wind 2016. Report. Consultado el 1 de diciembre de 2017, en:

http://www.gwec.net/wp-content/uploads/vip/GWEC-Global-Wind-2015-Report_April-2016_22_04.pdf

IEA (2017). International Energy Agency Consultado el 1 de diciembre de 2017, en: <http://www.iea.org/publications/>

PEMEX, Petróleos Mexicanos (2016). Anuario Estadístico 2016. México, D.F. Consultado el 1 de diciembre de 2017, en:

<http://www.pemex.com/ri/Publicaciones/Anuario%20Estadistico%20Archivos/anuario-estadistico-2016.pdf>

CONADESUCA (2015), Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar. Informe Estadístico del Sector Agroindustrial de la Caña de Azúcar, ZAFRAS.

<https://www.gob.mx/conadesuca/>

SEGOB (2013). Metodología para valorar externalidades asociadas con la generación de electricidad en México. México, D. F. Consultado el 15 de junio de 2013, en:

http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5282384&fecha=14/12/2012

SEGOB (2013) . Ley de transición energética, Consultada 1 de diciembre de 2017 en:

<http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LTE.pdf>

Referencias:

FIRCO (2011). Fideicomiso de Riesgo Compartido Consultada 1 de diciembre de 2017. Recuperado de:

<http://www.rembio.org.mx/2011/Documentos/Publicaciones/C2/diagnostico-nacional-de-biodigestores.pdf>

CONAGUA (2011). Comisión Nacional del Agua. Inventario Nacional de Plantas de Tratamiento de Aguas. Consultado 1 de diciembre de 2017, Descargado de :

<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/Inventario%20nacional%20de%20plantas%20municipales%202009.pdf>

Reporte de Avances de Energías Limpias en la Matriz Energética (2016). Capacidad instalada y generación de electricidad, en el año 2016 en México, y su evolución entre 2004-2016, en

<https://www.gob.mx/sener/documentos/informe-sobre-la-participacion-de-las-energias-renovables-en-la-generacion-de-electricidad-en-mexico-al-30-de-junio>

Curva de aprendizaje en Excel (2012). Modelos y aplicaciones Excel para la economía y la gestión de empresas. Consultada 1 de diciembre de 2017

<https://www.uptodown.com/windows/buscar/curva-de-aprendizaje-en-excel>

Sandoval E.R (2016). La industria fotovoltaica en México Photovoltaic Industry in México Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN. Consultado el 1 de diciembre de 2017 en:

<http://www.cuautitlan.unam.mx/rudics/ejemplares/0102/pdf/art06.pdf>

Tablas. 1 de 2

Tabla 1. Legislación secundaria aplicable a la reforma energética 2013.	Estrategia Nacional de energía 2014-2028.
Tabla 2. Modificaciones en materia de electricidad con la Reforma Energética.	Estrategia Nacional de energía 2014-2028.
Tabla 3. Áreas de transformación a partir de la Reforma Energética, Exploración y Producción de hidrocarburos.	Estrategia Nacional de energía 2014-2028.
Tabla 4. Áreas de transformación a partir de la Reforma Energética, Generación eléctrica, Cobertura eléctrica y Desarrollo Regional	Estrategia Nacional de energía 2014-2028.
Tabla 5. Artículos Consultados. Curvas de aprendizaje.	Elaboración Propia
Tabla 6. Tasas estimadas de aprendizaje relacionadas con la energía	A. McDonald y Schrattenholzer, 2001
Tabla 7. Reporte de tasas de aprendizaje	A. McDonald y Schrattenholzer, 2002
Tabla 8. Modelos de estimación de curvas de aprendizaje	. Elsevier. Predicting future performance by learning curves. Levente Malyusza, Attila.
Tabla 9. Sistemas de cogeneración	Universidad autónoma de occidente, cogeneración.
Tabla 10. Generación anual de electricidad en el mundo por región. 2015.	Reporte de la situación mundial energías renovables 2016. REN 21.
Tabla 11. Generación anual de electricidad en el mundo por país. 2015.	Reporte de la situación mundial energías renovables 2016. REN 21.
Tabla 12. Participación de energía Renovable en la producción de electricidad en el mundo. 2015.	Reporte de la situación mundial energías renovables 2016. REN 21.
Tabla 13. Participación anual de la participación de la energía renovable en el mundo 2015.	Reporte de la situación mundial energías renovables 2016. REN 21.
Tabla 14. Principales centrales hidroeléctricas en el mundo	Global Energy Network.
Tabla 15. Generación mediante fuentes bioenergéticos en el Mundo	IEA ,2013
Tabla 16. Las mayores plantas de energía eléctrica a partir de biomasa en el mundo.	Fondo de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO),2016.
Tabla 17. Las mayores plantas de energía Fotovoltaica en el mundo.	informe trimestral PV Demand Market Tracker 2016
Tabla 18. Las mayores plantas de energía Eólica en el mundo.	Asociación Mundial de la Energía Eólica, WWEA ,2015
Tabla 19. Potencia eólica instalada en el mundo por	GWEC – Global Wind 2015 Report
Tabla 20. Potencia eólica instalada en el mundo por Región (1 de 2).	GWEC – Global Wind 2015 Report
Tabla 20. Potencia eólica instalada en el mundo por región. (2 de 2)	Reporte sobre la situación mundial de las energías renovables REN 21
Tabla 21. Capacidad y generación energética total 2015, por países	Reporte sobre la situación mundial de las energías renovables REN 21
Tabla 22. Capacidad instalada mundial de energía renovable 2014-2015.	Reporte sobre la situación mundial de las energías renovables REN 21
Tabla 23. Refinerías en el País. Capacidad instalada.	Anuario Estadístico de Pemex
Tabla 24. Producción de o Crudo en México 2000-2016	Anuario Estadístico de Pemex
Tabla 25. Capacidad instalada en México de tecnologías convencionales ,2014-2015. [MW]	SENER, CFE y CRE y Subsecretaría de transición energética.
Tabla 26. Listado de Centrales Generadoras de energía eléctrica en México, 2016. Combustión Interna	Dirección de operaciones CFE, 2016.
Tabla 27. Listado de Centrales Generadoras de energía eléctrica en México, 2016. Vapor.	Dirección de operaciones CFE, 2016.
Tabla 28. Listado de Centrales Generadoras de energía eléctrica en México, 2016. Ciclo Combinado	Dirección de operaciones CFE, 2016.
Tabla 29. Listado de Centrales Generadoras de energía eléctrica en México, 2016. Carboelectricas	Dirección de operaciones CFE, 2016.
Tabla 30. Listado de Centrales Generadoras de energía eléctrica en México, 2016. Carboelectricas	Dirección de operaciones CFE, 2016.
Tabla 31. Capacidad instalada en México de otras energías limpias 2014-2015 [MW].	SENER, CFE y CRE y Subsecretaría de transición energética
Tabla 32. Centrales Generadoras de energía Nucleoeléctrica.	Dirección de operaciones CFE, 2016.
Tabla 33. Total, Capacidad instalada en México 2014-2015	SENER, CFE y CRE y Subsecretaría de transición energética. Elaboración Propia.
Tabla 34. Capacidad instalada en México de energía renovable 2014-2015	SENER, CFE y CRE y Subsecretaría de transición energética.
Tabla 35. Capacidad instalada de energía renovable en México primer semestre de 2016	SENER, CFE y CRE y Subsecretaría de transición energética.
Tabla 36 Capacidad instalada de energía renovable en México, 2015-2016	Reporte Avance de las energías limpias 2015 y 2016. SENER

Tablas. 2 de 2

Tabla 37. Capacidad instalada para la generación de energía en México primer semestre ,2016.	Reporte Avance de las energías limpias 2015 y 2016. SENER
Tabla 38. Capacidad instalada de energía renovable en renovables en México 2015-2016	Reporte Avance de las energías limpias 2015 y 2016. SENER
Tabla 39. Generación de Energía en México 2015 – 2016	Reporte Avance de las energías limpias 2015 y 2016. SENER. Elaboración propia
Tabla 40. <i>Centrales Generadoras de energía eléctrica en México. Geotermia</i>	Dirección de operaciones CFE, 2016
Tabla 41. Generación de energía eléctrica por medio de fuentes geotérmicas en México 2004 a 2016	Reporte Avance de las energías limpias 2015 y 2016. SENER
Tabla 42. Centrales Generadoras de energía eléctrica en México. Hidroeléctrica. (1de 2)	Dirección de operaciones CFE, 2016. Elaboración Propia
Tabla 42. <i>Centrales Generadoras de energía eléctrica en México. Hidroeléctrica. (2 de 2)</i>	Dirección de operaciones CFE, 2016. Elaboración Propia
Tabla 43. <i>Generación de energía hidroeléctrica en México de 2004 a 2015</i>	Reporte Avance de las energías limpias 2015 y 2016. SENER
Tabla 44. <i>Centrales Generadoras de energía eléctrica en México, Fotovoltaica.</i>	Dirección de operaciones CFE, 2016
Tabla 45. <i>Proyectos Fotovoltaicos en Sonora México 2017</i>	Secretaría de Energía. Comunicado de prensa. 25 de noviembre 2015
Tabla 46. <i>Proyectos Fotovoltaicos en Aguascalientes México 2017</i>	Secretaría de Energía. Comunicado de prensa. 25 de noviembre 2015
Tabla 47. <i>Generación de energía Fotovoltaica en México de 2004 a 2015</i>	Reporte Avance de las energías limpias 2015 y 2016. SENER
Tabla 48. <i>Generación de energía en México por medio de bagazo de caña, de 2004 a 2015</i>	Reporte Avance de las energías limpias 2015 y 2016. SENER
Tabla 49. <i>Generación de energía en México por medio de Biogás, de 2004 a 2015</i>	Reporte Avance de las energías limpias 2015 y 2016. SENER
Tabla 50. <i>Generación de energía en México por energía eólica, de 2004 a 2015</i>	Dirección de operaciones CFE, 2016
Tabla 51. Productores Independientes de Energía Eólica	Dirección de operaciones CFE, 2016
Tabla 52. Nuevos Proyectos Eólicos en México 2017	Secretaría de Energía. Comunicado de prensa. 25 de noviembre 2015
Tabla 53. Capacidad instalada de energía eólica en México en 2016 por Estados.	Asociación Mexicana de Energía Eólica A.C.
Tabla 54. Capacidad instalada de Energía Eólica en Baja California, 2016	Asociación Mexicana de Energía Eólica. AMEE, 2017
Tabla 55. Capacidad instalada de Energía Eólica en Nuevo León, 2016	Asociación Mexicana de Energía Eólica. AMEE, 2017
Tabla. 56. Capacidad instalada de Energía Eólica en Tamaulipas, 2016	Asociación Mexicana de Energía Eólica. AMEE, 2017
Tabla 57. Capacidad instalada de Energía Eólica en Chiapas, 2016	Asociación Mexicana de Energía Eólica. AMEE, 2017
Tabla 58. Capacidad instalada de Energía Eólica en San Luis Potosí, 2016	Asociación Mexicana de Energía Eólica. AMEE, 2017
Tabla 59. Capacidad instalada de Energía Eólica en Oaxaca 2016	Asociación Mexicana de Energía Eólica. AMEE, 2017
Tabla 60. <i>Generación de energía en México por medio energía eolica, de 2004 a 2015</i>	Reporte Avance de las energías limpias 2015 y 2016. SENER
Tabla 61. <i>Resumen de capacidad instalada y generación de energía en México de 2015 a 2016 .</i>	Reporte de la situación mundial energías renovables 2016
Tabla 62. <i>Coefficientes de la curva de aprendizaje del biogás en México 2004-2015</i>	Elaboración Propia
Tabla 63. <i>Generación de energía por biogás</i>	Elaboración Propia
Tabla 64. <i>Coefficientes de la curva de aprendizaje del bagazo de caña en México 2004-2015</i>	Elaboración Propia
Tabla 65. <i>Generación de energía por bagazo de caña</i>	Elaboración Propia
Tabla 66. <i>Coefficientes de la curva de aprendizaje de la energía hidroeléctrica en México 2004-2015</i>	Elaboración Propia
Tabla 67. <i>Generación de energía hidroeléctrica</i>	Elaboración Propia
Tabla 68. <i>Coefficientes de la curva de aprendizaje de la energía geotérmica en México 2004-2015</i>	Elaboración Propia
Tabla 68. <i>Coefficientes de la curva de aprendizaje de la energía geotérmica en México 2004-2015</i>	Elaboración Propia
Tabla 70. <i>Coefficientes de la curva de aprendizaje de la energía fotovoltaica en México 2004-2015</i>	Elaboración Propia
Tabla 71. Generación de energía fotovoltaica.	Elaboración Propia
Tabla 72. <i>Coefficientes de la curva de aprendizaje de la energía eolica en México 2004-2015</i>	Elaboración Propia
Tabla 73. <i>Generación de energía eólica</i>	Elaboración Propia