



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

FACULTAD DE ECONOMÍA

**ANÁLISIS Y PERSPECTIVAS DE LAS
ENERGÍAS RENOVABLES EN MÉXICO,
2000 - 2013**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN ECONOMÍA**

PRESENTA:

MONTSERRAT GARCÍA ROMERO

DIRECTOR DE TESIS

LIC. MIGUEL ÁNGEL JIMÉNEZ VÁZQUEZ



**CIUDAD UNIVERSITARIA, CDMX
SEPTIEMBRE, 2016**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

ÍNDICE

| | |
|---|-----------|
| ÍNDICE..... | 2 |
| AGRADECIMIENTOS | 6 |
| INTRODUCCIÓN..... | 7 |
| CAPÍTULO 1. LA ENERGÍA EN EL CONTEXTO MUNDIAL | 12 |
| 1.1 Antecedentes: El desarrollo de la energía y el hombre..... | 12 |
| 1.2 Energía y cambio climático..... | 14 |
| 1.2.1 Consecuencias del cambio climático | 14 |
| 1.3 El Informe Brundtland, el Protocolo de Kioto y la COP: Acuerdos de sustentabilidad..... | 22 |
| 1.3.1 Informe Brundtland | 22 |
| 1.3.2 Protocolo de Kioto | 27 |
| 1.3.3 Conferencia Mundial sobre el Cambio Climático – Partes de la Convención (COP) .. | 30 |
| 1.4 Economía, ambiente y energía: La relación..... | 32 |
| 1.4.1 ¿Qué es la economía?..... | 33 |
| 1.4.2 ¿Qué es la economía ambiental?..... | 33 |
| 1.4.4 ¿Qué es un recurso escaso? | 34 |
| 1.4.5 Recurso natural..... | 34 |
| 1.5 Panorama energético actual..... | 35 |
| 1.5.1 Los hidrocarburos: ¿Cuál es su presente y futuro? | 36 |
| 1.6 Energías sustentables para la nueva era..... | 39 |
| 1.6.1 Recursos renovables y energías renovables..... | 39 |
| 1.6.2 Energías Limpias | 40 |
| 1.6.3 Energías Alternativas | 40 |
| 1.6.4 ¿Hacia dónde van las energías renovables? | 42 |

| | |
|--|-----------|
| CAPÍTULO 2. LAS ENERGÍAS RENOVABLES | 45 |
| 2.1 ¿Qué es la Potencia?..... | 45 |
| 2.2 ¿Qué es la Energía?..... | 46 |
| 2.2.1 Tipos de energía | 46 |
| 2.2.2 Unidades de la energía..... | 47 |
| 2.2.3 Conservación de la Energía..... | 48 |
| 2.3 Energía primaria y Energía secundaria..... | 48 |
| 2.3.1 Energía primaria | 49 |
| 2.3.2 Energía secundaria..... | 49 |
| 2.4 ¿Qué son las energías renovables? | 49 |
| 2.5 Biomasa | 51 |
| 2.5.1 Biocarburantes: ¿Qué son y cómo se obtienen? | 52 |
| 2.6 Energía Eólica..... | 55 |
| 2.7 Energía Geotérmica | 60 |
| 2.8 Energía Hidráulica..... | 64 |
| 2.9 Energía Oceánica (Marina)..... | 69 |
| 2.9.1 Energía mareomotriz..... | 70 |
| 2.9.2 Energía oleomotriz..... | 70 |
| 2.9.3 Energía termomotriz | 72 |
| 2.10 Energía Solar | 74 |
| 2.10.1 Energía solar indirecta..... | 75 |
| 2.10.2 Energía solar directa | 76 |
| 2.10.3 Energía solar térmica..... | 76 |
| 2.10.4 Energía solar fotovoltaica | 77 |
| 2.11 Energía Nuclear | 80 |
| 2.11.1 La controversia de la energía nuclear..... | 81 |
| 2.11.2 Importancia de la energía nuclear..... | 83 |
| 2.12 Energía del Hidrógeno: ¿La energía del futuro?..... | 84 |
| 2.12.1 El hidrógeno como energético | 86 |

| | |
|---|------------|
| CAPÍTULO 3.LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN MÉXICO..... | 88 |
| 3.1 Panorama actual de las Energías Renovables en México..... | 88 |
| 3.2 Los desechos hechos energía: La biomasa en México | 91 |
| 3.2.1 Biocombustibles: Biodiesel y bioetanol a la mexicana | 93 |
| 3.2.2 Biogás nacional | 95 |
| 3.3 El viento a favor de México: Energía Eólica..... | 98 |
| 3.3.1 Otros datos del viento en México | 102 |
| 3.4 México es líder mundial: Energía Geotérmica..... | 105 |
| 3.5 El poder de Tláloc: Energía Hidráulica | 111 |
| 3.6 Águila y Sol: Energía Solar | 116 |
| 3.7 Energía Nuclear: La perspectiva nacional..... | 123 |
| 3.7.1 ¿Qué representa la Central Laguna Verde? | 126 |
| 3.8 Energía del Hidrógeno: ¿Tiene futuro en México?..... | 127 |
| 3.9 Energía Oceánica: La fuerza de los mares mexicanos | 129 |
| | |
| CAPÍTULO 4. SUSTENTABILIDAD EN MÉXICO: ENERGÍA, AMBIENTE Y CAMBIO CLIMÁTICO..... | 130 |
| 4.1 El uso final de la energía..... | 130 |
| 4.2 Producción y consumo de energía en México..... | 131 |
| 4.2.1 Producción..... | 131 |
| 4.2.2 Consumo final de energía (por fuente y por sector)..... | 133 |
| 4.3 La electricidad en México en el Siglo XXI..... | 136 |
| 4.4 Eficiencia y ahorro: Aliados de la sustentabilidad energética | 139 |
| 4.4.1 Eficiencia residencial o del hogar..... | 140 |
| 4.4.2 Eficiencia en edificios | 140 |
| 4.4.3 Eficiencia en el transporte..... | 141 |
| 4.5 La satisfacción del uso de la energía..... | 148 |
| 4.6 Energía, ambiente y cambio climático en México | 149 |
| 4.7 Pobreza Energética: Mexicanos en la oscuridad..... | 155 |
| 4.8 Sustentabilidad Energética: Energía para todos..... | 158 |
| 4.9 Educación: Investigación y Desarrollo para las Energías Renovables | 162 |

| | |
|---|-----|
| CAPÍTULO 5. LA NUEVA POLÍTICA ENERGÉTICA: ¿MÉXICO HACIA UN FUTURO SUSTENTABLE? | 167 |
| 5.1 Ley de Transición Energética | 173 |
| 5.2 El antes y el después de la Reforma Energética..... | 174 |
| 5.2.1 Tarifas..... | 176 |
| 5.2.2 Subsidios..... | 179 |
| 5.3 La nueva modalidad de las Instituciones del sector energético..... | 181 |
| 5.3.1 El nuevo contexto político-energético de la CFE..... | 183 |
| CONCLUSIONES | 184 |
| RECOMENDACIONES | 187 |
| ANEXO DE DATOS | 189 |
| BIBLIOGRAFÍA | 200 |
| FUENTES DE INTERNET | 204 |
| DOCUMENTALES, VIDEOS Y OTROS RECURSOS | 205 |

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, porque reconozco a la vida como un regalo divino y celebro esta oportunidad de estar viva y respirando.

Pero sobretodo, agradezco infinitamente a mis padres porque sin ellos este logro no habría sido posible. Esto también les pertenece. Gracias por su amor incondicional, por su trabajo incansable y sus sacrificios para que nunca me faltara nada. Gracias por ser ejemplo de fortaleza y voluntad, por sus consejos y por los valores y principios que me han inculcado. Gracias por su paciencia y por nunca darse por vencidos conmigo. Y porque cuando me dijeron "lo hacemos por tu bien" realmente sí lo hacían por mi bien. Una vida no será suficiente para agradecerles todo lo que han hecho por mí, pero comenzaré con esto.

Gracias a mis abuelitos, por ellos sé de dónde vengo y hasta dónde quiero llegar, es un orgullo llevar su sangre. A mi hermano Simón, por su apoyo a pesar de la distancia. A mi tío Pancho y mi tía Silvia por estar con mi familia en situaciones de dificultad.

A mi mejor amigo Diego, gracias por todos estos años de amistad incondicional, por entenderme, apoyarme y nunca juzgarme. Y gracias a todos esos amigos y amigas que han estado a mi lado y con quienes he vivido momentos inolvidables.

Gracias a todos los excelentes profesores y profesoras que me brindaron su conocimiento a lo largo de mi vida escolar, preparatoriana y universitaria. Por tener la vocación de la enseñanza e interesarse por la educación de los niños y jóvenes mexicanos. Al profe Miguel Ángel Jiménez Vázquez, quien además de haber sido mi maestro, también fue mi asesor en este trabajo de investigación y jefe de servicio social; gracias por su apoyo y paciencia.

Y gracias especiales a mi querida UNAM, por haberme dado un lugar y convertirse en mi segundo hogar.

También me agradezco a mí misma porque aguantar tantos desvelos, tareas, exposiciones, exámenes, trabajos finales, frustraciones y demás, no es fácil pero al final todo vale la pena. Gracias a la música de mis bandas favoritas por ser el soundtrack de mi vida.

Si faltó alguien, lo siento mucho. Mi cerebro terminó en shock después de tanta tesis, así que solo pon tu nombre aquí: ¡ _____ , gracias por tu apoyo!

“¡Fuiste mejor de lo que tú pudiste imaginar!
Cuando todo no es suficiente y sabes que los dementes son ellos y no tú.”
Cada martes por División Minúscula

INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia de la humanidad, la energía ha jugado un papel de enorme importancia en su desarrollo, esto ha traído cambios en el entorno del hombre; desde cambios sociales, políticos, económicos y ambientales. El uso de energía para la subsistencia humana es indispensable, sin embargo, el uso de combustibles fósiles ha tenido graves consecuencias para el ambiente, es por eso que este trabajo de investigación ofrece una visión extendida sobre las nuevas tendencias energéticas basadas en el desarrollo sustentable: las energías renovables.

En el Capítulo 1 se explica el contexto energético mundial, desde los inicios de la manipulación de la energía por el hombre, el impacto negativo que ha tenido el uso de los hidrocarburos en el ambiente y su relación con el cambio climático, así como la relevancia que tiene para alcanzar el desarrollo sustentable a través de acuerdos mundiales que se han celebrado a través de los últimos 30 años, los cuales buscan el equilibrio entre ambiente, energía y economía. Además, se explica la relación “energía-economía” y una primera introducción a las energías renovables.

Para el Capítulo 2, se tiene la explicación de cada una de las energías renovables desde el lado de la ingeniería y la tecnología. Como economistas, siempre buscamos el beneficio económico (valga la redundancia), social y político, sin embargo, muy pocas veces nos hemos detenido a pensar de dónde vienen las cosas, especialmente cuando se trata de estos temas. ¿Qué son las energías renovables?, ¿cuáles son las energías renovables?, ¿cómo se obtienen?, ¿por qué son importantes y cuáles son sus beneficios?, son parte del cuestionamiento para entender porqué en nuestro país no han tenido un desarrollo destacado.

En el Capítulo 3, se explicará el desarrollo de las energías renovables disponibles en México en el periodo 2000 – 2015; mientras que en el Capítulo 4, se verá su relación con el concepto de sustentabilidad en el país. En el Capítulo 5 se hará un breve resumen, diagnóstico y crítica sobre la Reforma Energética y su impacto en la economía nacional, además de un breve análisis de la Ley de Transición Energética.

IUSTIFICACIÓN

En los últimos años, ha crecido el debate sobre el desarrollo de fuentes renovables de energía en el contexto nacional, aun cuando su desarrollo se considera en un largo plazo y no tan importante como otros temas de desarrollo y crecimiento económicos para México, debido a que el país es uno de los mayores productores de hidrocarburos fósiles (petróleo principalmente) a nivel mundial, que lo hace dependiente económica y energéticamente de ellos.

La energía tiene una serie de características, no solo técnicas y tecnológicas, sino también sociales, económicas, políticas y ambientales. Con el fin de desarrollar exitosamente sus recursos de energía renovable, los países en desarrollo como México, necesitan políticas y medidas que sean fuertes, duraderas y legales, incluyendo objetivos eficaces, políticas concretas y procesos que funcionen bien, tanto administrativos como de gobernabilidad.

Este trabajo se ha de realizar con el fin de explicar cómo las energías renovables pueden convertirse en un motor de crecimiento y desarrollo económicos, que aportaría grandes beneficios a la población y los distintos sectores económicos de la nación. En términos económicos, las energías renovables son un gran negocio para un país, tanto en su contribución a la riqueza nacional como en la reducción de la alta dependencia a los combustibles fósiles, y en el ámbito ambiental juegan un papel fundamental en la lucha contra el cambio climático.

Todos los países tienen objetivos relacionados con las fuentes de energía renovable en diferentes grados. El análisis muestra que las energías renovables son un tema de suma importancia para la agenda energética de México, todo esto desde una perspectiva de desarrollo sustentable, pues la energía es clave para el desarrollo humano. En vez de ser un fin en sí misma, es un medio por el cual las comunidades mexicanas tienen acceso a agua limpia, cocción de alimentos, alumbrado y control de temperatura. Lograr acceso a formas modernas de energía puede expandir importantes oportunidades sociales y económicas, tales como cuidado de la salud, educación y generación de empleos.

Haciendo uso de las energías renovables, disminuirá la dependencia hacia los hidrocarburos, se tendrá una mayor inversión económica en su desarrollo, lo cual generará empleo; a largo plazo existirá una mayor oferta en el suministro de electricidad, lo cual implica la reducción de las tarifas de la misma, además de lograr una mayor cobertura en el suministro de electricidad, generando igualdad de condiciones para la población mexicana.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Durante los últimos quince años, en México no ha existido un impulso significativo y concreto de energías renovables. Y ante los problemas ambientales del nuevo milenio, estas energías emergen como opciones viables para alcanzar la sustentabilidad.

Los elementos involucrados con las energías renovables, se enfatizan a aquellos que están relacionados con las principales problemáticas energéticas de México como lo es la pobreza, el deterioro ambiental, la contaminación, el cambio climático, las características y aplicaciones de las nuevas tecnologías y las experiencias internacionales más importantes a nivel mundial para el fomento de su uso.

Asimismo, se proporciona una evaluación a nivel nacional del potencial económico y el desarrollo de las energías renovables, su situación en la oferta energética actual y los escenarios posibles para su desarrollo desde el punto de vista del desarrollo sustentable

OBJETIVO GENERAL

El objetivo general de este trabajo de investigación es analizar el desarrollo de las energías renovables en el sistema energético nacional desde una perspectiva del desarrollo sustentable desde el año 2000 al 2013, además de incluir los primeros resultados (al año 2015) de la Reforma Energética en materia de energías renovables.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Explicar porqué las energías renovables son la opción más viable ante el agotamiento de los hidrocarburos en México.
- Describir cómo a través del uso de energías renovables aumenta la conservación del medio ambiente y un futuro encaminado al desarrollo sustentable.
- Señalar cómo a través de una mayor inversión en infraestructura y tecnología para estas energías darán como resultado mejores condiciones sociales y ambientales en México
- Conocer cuál será la magnitud del impacto de la Reforma Energética sobre el desarrollo de energías renovables en el país y sus perspectivas a largo plazo.

HIPÓTESIS

Las energías renovables en México no han logrado un desarrollo suficiente, fundamentalmente debido a la dependencia económica que el país tiene con el petróleo, el limitado impulso tecnológico, la falta de inversión dirigida a este tipo de energías, el desinterés político y social hacia temas ambientales, y la escasa información que se tiene sobre las mismas.

“Si utilizamos combustible fósil para generar energía, estamos consumiendo nuestros recursos y agotándolos rápidamente. Este método es bárbaro y derrochador sin ningún reparo; debemos detenerlo por el bien de las generaciones futuras”

- NIKOLA TESLA -

CAPÍTULO 1

LA ENERGÍA EN EL CONTEXTO MUNDIAL

1.1 Antecedentes: El desarrollo de la energía y el hombre

Desde la aparición del hombre sobre la faz de la Tierra y con la evolución de ambos, la humanidad ha buscado distintas formas de subsistencia que garanticen su desarrollo ante el medio en el cual se pudiera encontrar. Por esta razón y sin duda alguna, una de estas formas de subsistencia es el uso de las energías en sus distintas formas, el primer encuentro que tuvo el hombre con la energía fue con el descubrimiento del fuego.

Lo anterior, no significa que la energía no estuviera presente sino que el descubrimiento del fuego es un punto clave que hizo que el hombre se diera cuenta que podía controlar y cambiar algún tipo de energía para su beneficio y para la satisfacción de sus necesidades.

Hasta antes de la primera Revolución Industrial, gran parte de la humanidad dependía de los flujos energéticos provenientes de la naturaleza y de la fuerza tanto animal como humana para poder proveer y satisfacer sus necesidades de calor, trabajo y luz. En esta etapa, la transformación de la energía química a energía calorífica era la más conocida con el uso de la leña y velas que mediante un proceso de combustión¹ generaban luz y calor.

Cuando se habla de energías renovables; el aprovechamiento de la energía disponible de manera renovable en la naturaleza se encuentra en el origen del ser humano, cuando el

¹ La combustión es un proceso químico en el que una sustancia reacciona rápidamente con el oxígeno y desprende calor. La sustancia original se llama el combustible, y la fuente de oxígeno se llama el oxidante. El combustible puede ser un sólido, líquido o gas, el oxidante, asimismo, podría ser un sólido, líquido o gas, pero es generalmente un gas (aire). Fuente: *Combustion* by www.grc.nasa.gov.

Las reacciones de combustión más comunes son las de las sustancias orgánicas compuestas en general por carbono hidrógeno y muchas veces oxígeno, con el oxígeno del aire. Fuente: Enciclopedia Temática Ilustrada: Vol. 6 - Física y Química.. 2003. Pp. 83 - 84.

hombre aprendió a controlar el fuego, como ya se mencionó, y de este modo aprovechar la energía de la biomasa. A lo largo de la historia de la humanidad, hemos aprovechado la energía de la biomasa, la radiación solar directa, el viento, el movimiento del agua y de la geotermia de distintas maneras, y es a partir de la Revolución Industrial cuando se comenzó a utilizar a gran escala la enorme cantidad de energía contenida en recursos no renovables como: carbón, petróleo, gas natural y uranio, principalmente.

En el caso de las energías renovables y de acuerdo con Creus, el inicio de las energías renovables arranca en la prehistoria, cuando el hombre aprendió a utilizar la energía del viento como propulsión de los barcos a vela. La energía hidráulica la aprovechó desde el año 1000 A.C., usando molinos de molienda de cereales movidos por el caudal de los ríos, y en la época de Cristo y la Edad Media utilizando grandes ruedas hidráulicas o norias². La energía solar se empezó a usar a finales del siglo pasado con tecnologías más avanzadas, sin embargo, el primer uso documentado aparece en el siglo III A.C., durante el saqueo de Siracusa en la Segunda Guerra Púnica, en el cual Arquímedes utilizó grandes espejos para reflejar y concentrar los rayos solares sobre las velas de las naves romanas prendiéndoles fuego (Creus, 2014).

No fue hasta con la Revolución Industrial del siglo XVIII, cuando cambiaron por completo los sistemas energético, económico y tecnológico mundiales gracias a la invención de la máquina de vapor, la cual se considera como uno de los cambios tecnológicos más representativos en la historia de la humanidad; así como el uso de nuevos combustibles como el carbón, el cual era la fuente de energía de estas máquinas.

Es por eso que la Revolución Industrial es el punto de partida de los hidrocarburos, pues fue en esta etapa donde se establecieron en el mapa el carbón, el petróleo y el gas natural, como energías fósiles, baratas y con un alto poder energético, que inicialmente parecieron como inagotables favoreciendo un crecimiento rápido de nuestra civilización, lo cual significó el olvido del uso de las energías renovables.

² Noria.- *def.* Máquina compuesta de dos grandes ruedas engranadas que, mediante cangilones, sube el agua de los pozos, acequias, etc. Fuente: www.rae.es

1.2 Energía y cambio climático

Con el paso del tiempo y la evolución de la humanidad hacia eras más modernas, las necesidades del hombre fueron cambiando por lo que las formas de uso y generación de energía primeramente utilizadas debían de cambiar también. Esta evolución del hombre y la energía es permanente porque las necesidades pasadas, presentes y futuras son determinadas por tres factores: el crecimiento de la población, el desarrollo económico y el progreso tecnológico (Nakicenovic, Grübler y McDonald, 1998).

La Revolución Industrial significó para el mundo un punto de inflexión, pues dio paso al uso de energías basadas en los hidrocarburos (carbón, gas, petróleo y sus derivados) que gracias a sus bajos precios y a su alto poder energético, trajeron consigo una creciente demanda de las mismas.

En la actualidad poco más de tres cuartas partes de la energía consumida en el mundo son de origen fósil, con un claro predominio del petróleo que lanza a la atmósfera inmensas cantidades de dióxido de carbono (CO_2), además de que el uso excesivo de todo tipo de energías basadas en hidrocarburos fósiles, genera una gran cantidad de calor que se expande por todo el globo terráqueo, lo que implica un aumento en la temperatura del planeta y tiene como consecuencia el tan discutido, cambio climático.

Por lo anterior, es indispensable reducir los efectos contaminantes que generan los hidrocarburos fósiles, tal y como se plantea en el Informe Brundtland, el Protocolo de Kioto y la COP, que no son solamente acuerdos ambientales y climatológicos, sino que también tienen como objetivo la búsqueda de un desarrollo sustentable para las naciones que adopten las medidas para la protección del ambiente.

1.2.1 Consecuencias del cambio climático

Antes de profundizar el tema principal de este trabajo de investigación, es menester saber qué es el cambio climático, el cual es un tema que ha dado mucho de qué hablar en los últimos tiempos y que trae consigo muchas más consecuencias negativas de las que se puede imaginar, desde consecuencias ambientales hasta económicas.

Para entender al cambio climático, es preciso definirlo. De acuerdo a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático³ (CMNUCC), es un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables (Artículo 1, párrafo 2 de la CMNUCC).

En un contexto nacional, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)⁴ establece al cambio climático como la variación del clima por periodos largos, ya sea por condiciones naturales o como resultado de actividades humanas. Desde finales del siglo XIX, pero más notable en los últimos 50 años, con el desarrollo industrial y la pérdida de bosques y selvas, entre otros factores, es por eso que la temperatura de la superficie terrestre se ha incrementado, lo cual significa un alto riesgo para todas las formas de vida.

En resumen, ambas definiciones explican que el cambio climático es una variación del clima de la Tierra con respecto al historial climático de la misma. Estos cambios se producen en diferentes escalas de tiempo y sobre todos los parámetros climáticos como son: presión, temperatura, humedad relativa, vientos, precipitación, nubosidad, etc. y puede ser debido a causas naturales o por la acción antropogénica⁵.

Asimismo, el cambio climático está acompañado del muy famoso efecto invernadero. En definición, se tiene lo siguiente: el efecto invernadero se refiere a la retención del calor

³ La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) fue adoptada en Nueva York el 9 de mayo de 1992 y entró en vigor el 27 de marzo de 1994. Permite, entre otras cosas, reforzar la conciencia pública, a escala mundial, de los problemas relacionados con el cambio climático. En la Convención Marco se establece un marco general para los esfuerzos internacionales encaminados a abordar el problema del cambio climático. Se declara que el objetivo supremo de la Convención es estabilizar las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida que el clima se perjudique. www.un.org

⁴ La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) es la dependencia del gobierno federal encargada de impulsar la protección, restauración y conservación de los ecosistemas y recursos naturales y bienes y servicios ambientales de México, con el fin de propiciar su aprovechamiento y desarrollo sustentable. www.semarnat.gob.mx

⁵ *Antropogénico*: De origen humano o derivado de la actividad del hombre. Fuente: www.greenfacts.org

derivado del Sol en la atmósfera a consecuencia de un cinturón de gases, por el cual recibe su nombre. Entre ellos se encuentra el dióxido de carbono, el óxido nitroso y el metano. Los gases de efecto invernadero son transparentes a las radiaciones de la luz solar y absorbente a las del espectro de infrarrojos de la superficie terrestre. En consecuencia, parte de las radiaciones solares se reflejan en el cinturón, para incidir de nuevo en la superficie terrestre y elevar la temperatura. (Perales, 2012)

En la actualidad, la generación de energía para el consumo humano y de la industria a través del uso de combustibles fósiles y otros materiales orgánicos, contribuyen al cambio climático de manera más acelerada y aumentan también el efecto invernadero, pues con la quema de petróleo, carbón y gas natural, así como la deforestación, los cambios en el uso de los suelos y la alta generación de residuos, emiten GEI a la atmósfera que alteran la temperatura de la Tierra y modifican el clima, es decir, propician al calentamiento global y al cambio climático, el cual de acuerdo con investigaciones científicas recientes, es irreversible.

Pero ¿qué son los GEI? Pues bien, los GEI son los Gases de Efecto Invernadero (de ahí sus siglas), aunque no son gases emitidos exclusivamente por la transformación de los hidrocarburos fósiles, pues como ya sabemos, la naturaleza también emite calor y gases, pero debido a la obtención de energía y energéticos, el ser humano es quien más provoca la emisión de estos gases.

Existe un grupo de seis gases que el Protocolo de Kioto se propone reducir. Es importante señalar que los mayores emisores de GEI son los países con un mayor grado de industrialización, puesto que su demanda por combustibles es mayor, así como su consumo de energía por habitante es de un nivel más elevado a comparación con países en vías de desarrollo. A continuación se muestra un cuadro con las características de estos gases de efecto invernadero:

Cuadro 1.1

| GEI | Emisión y Efectos |
|---|--|
| CO₂ Dióxido de Carbono | Es el gas de efecto invernadero que se produce en mayor cantidad y es el principal responsable del calentamiento global. Las fuentes más importantes de CO ₂ son la quema de combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas natural) y los incendios forestales. |
| CH₄ Metano | Se libera cuando la materia orgánica se descompone en ambientes pobres de oxígeno (como zonas húmedas) o cuando la materia orgánica se descompone, y también es el resultado de actividades ganaderas. |
| N₂O Óxido Nitroso | Su potencial para el cambio climático y el calentamiento global es 300 veces mayor que el dióxido de carbono, pero su concentración es mucho menor. Se origina por el uso de fertilizantes agrícolas y en la actividad industrial. |
| HFC Hidrofluorocarbono | Son producidos comercialmente en sustitución de los clorofluorocarbonos. Los HFCs se utilizan ampliamente en refrigeración y en fabricación de semiconductores. |
| PFC Perfluorocarbono | Son subproductos de la fundición del aluminio y del enriquecimiento del uranio. Sustituyen también a los clorofluorocarbonos en la fabricación de semiconductores. |
| SF₆ Hexafluoruro de Azufre | Se utiliza profusamente en la industria pesada para el aislamiento de equipos de alta tensión y como auxiliar en la fabricación de sistemas de refrigeración de cables y de semiconductores. |

Elaboración propia con datos de la SEMARNAT y la Junta de Andalucía⁶.

De acuerdo a cifras y/o datos⁷ del Banco Mundial y de la CMNUCC⁸, los principales países responsables de producir más CO₂ por quema de combustibles fósiles y producción de cemento y con ello aportar más al calentamiento global son (medidos en toneladas métricas):

⁶ www.juntadeandalucia.es/medioambiente.

⁷ Los datos y cifras pueden variar dependiendo de la fuente de consulta.

⁸ Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

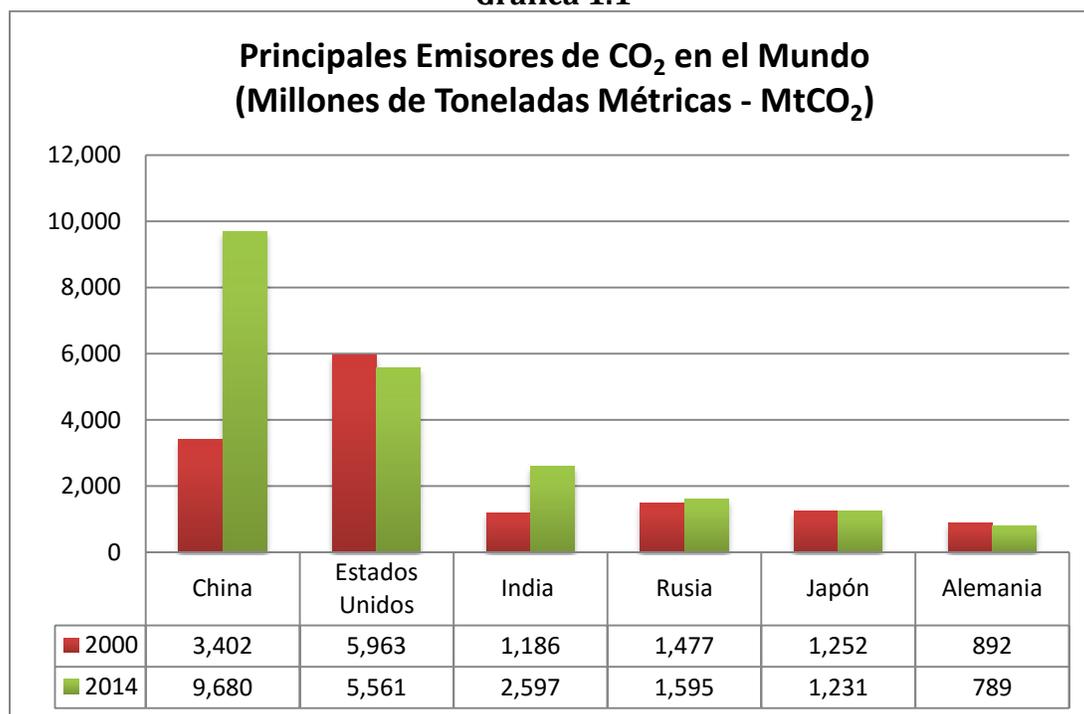
Cuadro 1.2

| Principales Países Emisores de CO₂ por quema de combustibles fósiles y producción de cemento, 2010 (Millones de toneladas) | | |
|--|-----------------------|------------------|
| Lugar | País | Toneladas |
| 1 | China | 8,249 |
| 2 | Estados Unidos | 5,497 |
| 3 | India | 2,072 |
| 4 | Rusia | 1,690 |
| 5 | Japón | 1,139 |
| 13 | México | 467 |

Fuente: México Quinta Comunicación Nacional ante la CMNUCC⁹

Tan solo estos 5 países emitieron el 55% de CO₂ de todo el mundo hasta el año 2012, y para el nuevo siglo, China desplaza del primer lugar a los EU como principal emisor de CO₂, como consecuencia de su crecimiento económico basado en la industria.

Gráfica 1.1



Fuente: Elaboración propia con datos de Global Carbon Atlas.

⁹ México Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. INECC – SEMARNAT. PDF. 2012. [Fecha de consulta: 30 de marzo de 2015].

El *Global Carbon Atlas*, de donde fueron extraídos los datos de la Gráfica 1.1, no contiene los datos del año 2015, pero se sabe gracias a la Agencia Internacional de Energía (IEA¹⁰) que China sigue a la cabeza en emisiones de CO₂, le sigue EU e India. En el lugar 11 se encuentra Brasil y en el 12 está México, ambos con 1.4 % de emisiones de CO₂ respecto al total mundial.

Cuadro 1.3

| Mayores Emisores de CO₂ en el Mundo 2015 (% de emisiones respecto al total mundial) | | |
|---|-----------------|------------|
| Lugar | País | % |
| 1 | China | 27.8 |
| 2 | EU | 15.9 |
| 3 | India | 5.8 |
| 4 | Rusia | 4.7 |
| 5 | Japón | 3.8 |
| 6 | Alemania | 2.35 |
| 12 | México | 1.4 |

Fuente: Elaboración propia con datos de AIE

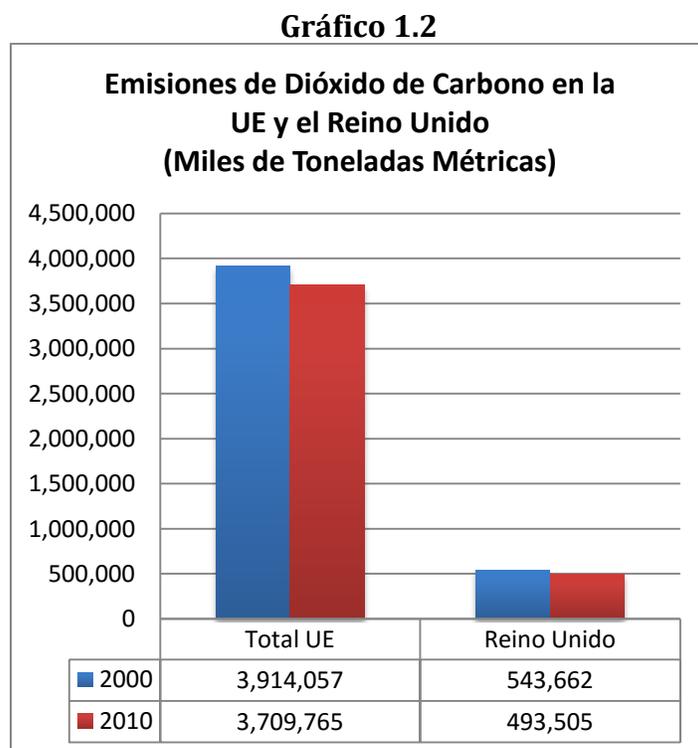
De acuerdo con el *Global Carbon Atlas*, las estadísticas son claras, las emisiones de CO₂ se concentran en 20 países, lo cual representa el 78 % de las emisiones, el 12 % restante, proviene de 185 países.

Por parte de la Unión Europea (UE), todos los países miembros están muy lejos de cumplir sus objetivos de reducción de GEI ante el Protocolo de Kioto. Entre 1990 (año de base del Protocolo) y 2006, mientras la UE crecía, las emisiones globales de sus veintisiete Estados miembros disminuyeron en un 10.8 %.

En el caso de los Estados miembros más antiguos (EU-15), el descenso de las emisiones fue del 2.7 %, aun con esta cifra, los esfuerzos necesarios no fueron suficientes para que estos quince países alcanzaran el objetivo al que se comprometieron, reducir más de un 8 % las emisiones de GEI para el periodo 2008-2012.

¹⁰ IEA: International Energy Agency por sus siglas en inglés.

Respecto al Reino Unido, la caída de las emisiones ha tomado por sorpresa al mismo gobierno británico. En el 2009 se registró también un notable descenso de GEI, superior al 5 %¹¹. Le siguieron cinco años de estabilización de las emisiones, hasta que la puesta en marcha de los grandes proyectos de energía eólica-marina ha marcado finalmente una diferencia como se ve en el Gráfico 1.2.

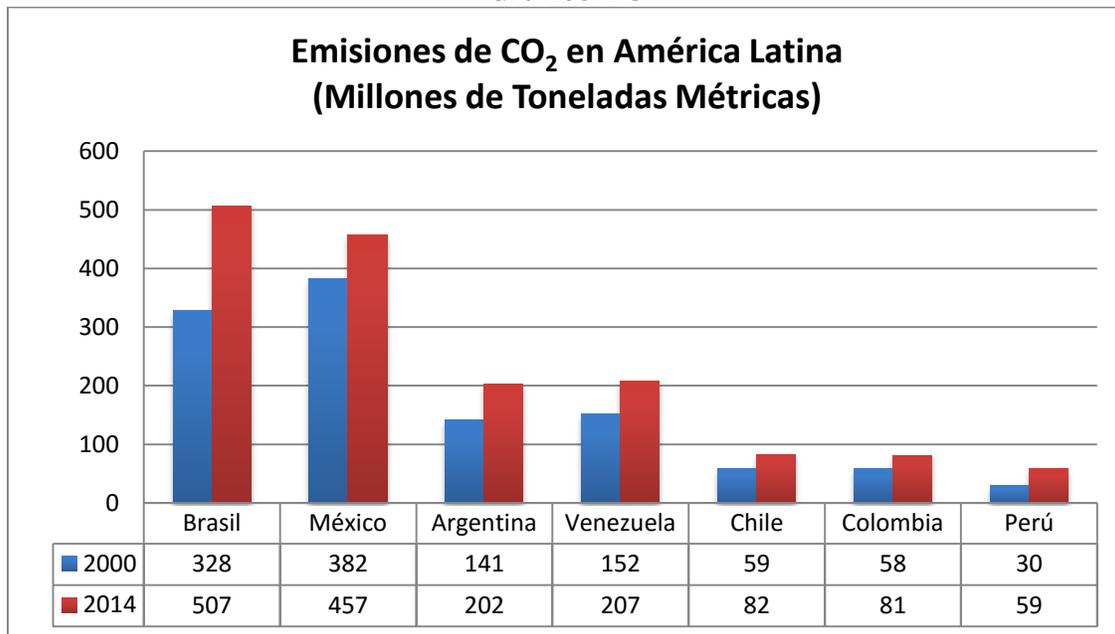


Fuente: Elaboración propia con datos del Banco Mundial.

El panorama de América Latina indica que en el año 2000 esta región y el Caribe aportaron el 5.5 % del total de CO₂ del mundo. Para el año 2010, México produjo 443,600,000 toneladas métricas, y Brasil 419,000,000 toneladas métricas, estos dos son los países de la región con más emisiones de CO₂ y entre los dos producen más de la mitad de emisiones de CO₂ de América Latina.

¹¹Fresneda, Carlos. *Reino Unido da un "hachazo" a sus emisiones de CO2*. 2015. Fuente: www.elmundo.es

Gráfico 1.3



Fuente: Elaboración propia con datos del Global Carbon Atlas.

Al entender que las emisiones de CO₂ y demás gases de efecto invernadero tienen consecuencias negativas, se puede comprender que este problema ambiental y energético trae consigo consecuencias que afectan a los países, sus gobiernos y sus habitantes. Entre las consecuencias más frecuentes y visibles están:

- Inundaciones.
- Sequías y olas de calor (afecta a los recursos hídricos, ecosistemas, la agricultura y la salud humana)
- Huracanes, ciclones y tormentas.
- Aumento en los niveles del mar (deshielo de los polos).

Todos los seres vivos – incluyendo a los seres humanos - forman parte del planeta Tierra, además, la atmósfera es de todos por lo que se debe de usar de forma equitativa; y es por eso que la emisión de gases de efecto invernadero es una responsabilidad mundial, pero principalmente de los países industrializados. Sin embargo, no toda la responsabilidad recae en ellos, pues los países en vías de desarrollo tienen un aumento en su población acelerado, por lo que su demanda de energía también aumenta y por consiguiente sus emisiones de

GEI. Es por esto que la lucha contra el cambio climático es responsabilidad de todas las naciones.

1.3 El Informe Brundtland, el Protocolo de Kioto y la COP: Acuerdos de sustentabilidad

Con el fin de establecer ciertos parámetros sobre economía, energía y ambiente, distintas organizaciones mundiales han creado documentos y convenios que engloban temas energéticos, económicos y sociales para todas las naciones, desde las más industrializadas y que emiten altas cantidades de GEI como es el caso de EU, hasta los países en desarrollo como México que buscan un mayor acceso a los distintos tipos de energía.

Estos documentos y convenios proponen acciones políticas mediante las cuales se puedan mitigar los efectos negativos que tienen el uso de los hidrocarburos sobre el medio ambiente, así como garantizar un mayor desarrollo y crecimiento económico y ambiental, los cuales se mostrarán a continuación.

1.3.1 Informe Brundtland

Ahora bien, con el fin de tener una “guía” para el desarrollo político, económico, social y ambiental, en octubre de 1984 se celebró por primera vez la reunión de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (WCED)¹² por motivo de un llamado de la Asamblea General de las Naciones Unidas para atender y establecer una agenda global para el cambio (A global agenda for change). Esta comisión tuvo la fuerte convicción de que es posible para la humanidad tener un futuro próspero, justo y seguro.

Así, gracias a este enfoque por la búsqueda de un futuro mejor, en abril de 1987 la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo publicó un informe que lleva por nombre “Nuestro Futuro Común” (Our Common Future), mejor conocido como

¹² World Commission on Environment and Development, por sus siglas en inglés y que fuera creada en 1983.

Fuente: www.unep.org

“Informe Brundtland”, el cual fue encabezado por la doctora noruega Gro Harlem Brundtland¹³ y a quien se le debe el nombre de este informe.

El Informe Brundtland plantea que es posible tener un crecimiento económico basado en políticas de sustentabilidad a través de la expansión y buena administración de los recursos ambientales. A pesar de ello, este acuerdo por un futuro con mejores condiciones de vida está condicionado, ya que depende principalmente de las condiciones políticas que tiene cada país y la manera en que estas políticas permiten el buen manejo de los recursos ambientales para que puedan permitir el desarrollo humano de manera sustentable y así garantizar un futuro mejor.

El objetivo principal de la Comisión era entregar un informe de alerta no pesimista para las naciones, que les permitiera adoptar medidas que ayuden a asegurar los recursos escasos (ambientales principalmente) que garanticen una mejor calidad de vida a esta y demás generaciones por venir.

Cuando la Comisión se conformó, lo hizo como un cuerpo independiente de cualquier gobierno y de la misma ONU (UN)¹⁴, ya que era más que imposible separar los temas de crecimiento y desarrollo económicos de los ambientales. Por esta razón, los principales objetivos de la Comisión fueron los siguientes:

1. Examinar los temas críticos de desarrollo y medio ambiente, así como la formulación de propuestas reales para su solución o impulso (dependiendo el caso).

¹³ Gro Harlem Brundtland. Nació el 20 de abril de 1939 en Oslo, Noruega. Durante la década de 1970 adquirió reconocimiento internacional en los círculos ambientales y una reputación política en casa. En 1981, a la edad de 41 años, fue nombrada Primer Ministra de su país, además de ser la persona más joven y la primera mujer en ocupar el cargo de Primer Ministro de Noruega. Con otros dos periodos como primer ministro entre 1986 a 1989 y 1990 a 1996. A lo largo de su carrera política, la Dr. Brundtland ha desarrollado una creciente preocupación por cuestiones de importancia mundial. En 1983, el entonces Secretario General de las Naciones Unidas la invitó a establecer y presidir la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. La Comisión, que es más conocido por haber desarrollado el amplio concepto político de desarrollo sostenible, publicó su informe “Nuestro Futuro Común” en abril de 1987. Fuente: www.un.org

¹⁴ Organización de las Naciones Unidas - United Nations por sus siglas en inglés.

2. Propone nuevas formas de cooperación internacional capaces de influir en la formulación de políticas sobre temas de desarrollo y medio ambiente.
3. Promover niveles de comprensión y compromiso de individuos, organizaciones, empresas, institutos y gobiernos.

Con estos estándares, la Comisión observó que muchos ejemplos de “desarrollo” utilizados en aquellos tiempos, generaban desarrollo a ciertos sectores de la población pero a otros les generaba pobreza, vulnerabilidad y además tenía cierto impacto de degradación del ambiente, comprometiendo la seguridad de las generaciones presentes y aun más las generaciones futuras. Razón por la cual se buscó un nuevo concepto de desarrollo, el cual buscaba contener y garantizar tres ejes de desarrollo: social, económico y ambiental; bajo este contexto es como surge el concepto de *Desarrollo Sustentable*. La Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo plantea el concepto de Desarrollo Sustentable y lo define como:

“La satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las generaciones futuras para atender sus propias necesidades”¹⁵.

Para la Comisión, los niveles actuales de pobreza y desigualdad son inevitables, es por eso que a través del concepto de desarrollo sustentable busca una manera de distribuir los recursos de forma equitativa y a favor de quienes más los necesitan.

A su vez, esa equidad requiere del apoyo de los gobiernos y sus sistemas políticos para que puedan garantizar, entre otras cosas, una mayor participación de la sociedad en los procesos de decisión por medio de la democracia (nacional e internacional), es decir, el desarrollo sustentable depende en gran parte de las decisiones de las naciones para cambiar o crear políticas que garanticen este concepto, si no en su totalidad pero sí en su mayoría.

Una manera fácil y gráfica para describir al desarrollo sustentable, es la siguiente:

¹⁵ United Nations. World Commission on Environment and Development. *Our Common Future*. PDF. 1987.

[Fecha de consulta: Diciembre de 2014].

Figura 1.1



Fuente: Elaboración propia.

El Informe Brundtland enfoca los siguientes temas:

- Población y recursos humanos: Demografía, vivienda, alimentación, pobreza, salud y educación.
- Especies y ecosistemas: Protección de la flora y fauna de las naciones, así como la correcta administración de los recursos ambientales.
- **Energía: Cambio climático, energías renovables, eficiencia energética y seguridad energética para la población de las naciones.**
- Industria: Tecnología amable con el ambiente, prevención del daño ambiental, mejor manejo de los recursos.
- Urbanización: Poblaciones concentradas en zonas urbanas (grandes ciudades principalmente) y como garantizar el abastecimiento de servicios a la ciudadanía.

Este trabajo de investigación se enfoca en el tema energético, de manera específica, sobre las energías renovables (principalmente aquellas que generan energía eléctrica), por lo que ahora se dispondrá a explicar lo que el Informe Brundtland expresa sobre la energía en particular.

Se sabe que la demanda de energía se encuentra en rápido aumento, si la satisfacción de la misma se basara en el consumo de recursos no renovables el ecosistema no sería capaz de resistirlo. Los problemas de calentamiento y acidificación serían intolerables. Por eso son urgentes las medidas que permitan hacer un mejor uso de la energía. La estructura energética del siglo XXI y de los años por venir debe tener una fuerte participación de las energías renovables.

El Informe Brundtland (Our Common Future, 1987) en su “*Capítulo 7 – Energía: Opciones para el Medio Ambiente y el Desarrollo*”, expresa cinco ejes fundamentales con respecto al tema en su primer apartado llamado “*Energía: Opciones para el medio ambiente y el desarrollo*”, los cuales son:

- Importancia de la energía; el papel que desempeña la energía para el desarrollo humano y su entorno a través de fuentes de energías seguras y no dañinas para el ambiente.
- Garantía energética; principalmente para la satisfacción de las necesidades de los individuos, desde las necesidades más básicas como la calefacción hasta el uso de energía para la industria.
- Tipos de energía disponibles; considerar la escasez de las fuentes de energía no renovables (petróleo, gas natural, carbón), el aprovechamiento de energías renovables (viento, agua, geotermia, sol, etc.); hasta el manejo de la energía nuclear.
- Viabilidad energética; se debe cuestionar qué tan suficiente y eficaz es el suministro de energía en su producción, consumo y conservación, además de su impacto en los demás sectores (económico, social y ambiental).

- Transición energética; para garantizar la seguridad energética futura, se debe encontrar una vía de aceptación hacia una energía que resulte no ser dañina y que sea racional.

A partir de estos ejes, el Informe Brundtland explica que un tipo de energía segura y durable es decisiva para el desarrollo duradero [...]. Las tasas de uso de la energía han venido disminuyendo pero la industrialización, el desarrollo agrícola y el rápido crecimiento demográfico de las naciones en desarrollo precisarán mucha más energía. En la actualidad, la persona media en una economía de mercado industrializada utiliza 80 veces más energía [...] por consiguiente, todo programa razonable de energía a nivel mundial debe prever una utilización de energía primaria sustancialmente mayor por parte de los países en desarrollo (Our Common Future, 1987).

Asimismo, el Informe Brundtland tiene puntos de suma importancia que están relacionados con este trabajo y que es importante analizar; sobre todo al seguir la línea de las energías renovables y que son los siguientes:

A partir de la industrialización, el desarrollo agrícola y el rápido crecimiento demográfico, es necesaria mucha más energía por lo que encontrar un tipo de energía segura, durable y amable con el ambiente es decisivo para el desarrollo de las naciones. En cada etapa de crecimiento económico, es necesario utilizar menos energía y por esta razón, las políticas energéticas de las naciones, deben encaminarse al efectivo uso de energías renovables y convertir el tema energético en un objetivo fundamental en cuanto a precios dados a los consumidores (Our Common Future, 1987).

1.3.2 Protocolo de Kioto

Retomemos el tema sobre el cambio climático. Es preciso mencionar que la naturaleza, por sí misma mantenía en equilibrio las emisiones de gases, y por tanto, los ecosistemas se mantenían equilibrados también.

En la década de los años setenta, se comenzó a dar importancia al impacto ambiental que tenía la industria y el consumo humano de energía. Con el desarrollo industrial de las naciones y el aumento de la población, la emisión de gases, CO₂ principalmente, ha ido en

aumento y en gran velocidad. Aun cuando el CO₂ es necesario para la vida en el planeta Tierra, en altas cantidades se vuelve peligroso, principalmente por el uso y quema de petróleo, gas y carbón, y por esta razón distintos países han buscado formas para mitigar el calentamiento global provocado por las altas emisiones de GEI y que por consecuencia provocan el cambio climático.

Una de las formas más conocidas para la lucha contra el cambio climático y la reducción de GEI, es el Protocolo de Kioto.

El Protocolo de Kioto es el acuerdo institucional más importante con respecto al tema del cambio climático, el cual tiene su base y origen en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático en Nueva York, el 9 de mayo de 1992. Esta convención surge como un proceso internacional de negociación a partir de la publicación del Primer Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés). En este informe se confirmaba la existencia y peligrosidad del fenómeno del cambio climático.

Para la Convención Marco sobre el Cambio Climático, su principal objetivo es tratar de reducir las emisiones de los GEI de los principales países industrializados, es decir, lograr una estabilización de la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático.

Así, en 1997 tuvo lugar una segunda reunión para firmar nuevos acuerdos que formarían y consolidarían al Protocolo con respecto al cambio climático, celebrado en la ciudad a la cual debe su nombre: Kioto, Japón.

El plan era establecer las condiciones mínimas que permitieran reducir las emisiones contaminantes. Se alcanzó el compromiso de reducirlas en un índice anual reducido que evitara grandes cambios. En realidad fueron mecanismos de flexibilidad introducidos a consecuencia de la dificultad para ponerse de acuerdo y se convino también que el esfuerzo de modificación de los procesos industriales lo llevaran a cabo solo los países fuertemente industrializados. Aun así, algunos grandes países desarrollados, como Estados Unidos, no aceptaron las condiciones, quedando fuera del acuerdo. En el Protocolo de Kioto se hizo referencia clara a los gases culpables directos del efecto invernadero (Perales, 2012).

Estos gases y sus efectos fueron citados anteriormente en el Cuadro 1.1, asimismo el Protocolo de Kioto les asignó porcentajes de partículas emitidas:

1. Dióxido de carbono (CO₂): 65%
2. Metano (CH₄): 20%
3. Óxido nitroso (N₂O): 6%

Más tres gases industriales, los gases fluorados (CFC), que son: hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y el hexafluoruro de azufre (SF₆)¹⁶.

En el Artículo 12 del Protocolo de Kioto se establece que en el periodo comprendido entre 2008 y 2012 las partes del Anexo I¹⁷ se comprometen a reducir sus emisiones de GEI en no menos de 5.2% en relación con las que se tenían en 1990¹⁸. Mientras que las reducciones de los tres GEI industriales, se medirán contra la base de 1990 (exceptuando a algunos países de economías en transición), que se podrán medir contra las bases de 1990 a 1995 (Gay, Carlos y Rueda, José. 2012).

Asimismo, en el Artículo 10 del Protocolo de Kioto establece las responsabilidades comunes a todas las Partes y expresa la no introducción de nuevas obligaciones a los países en desarrollo. Las principales obligaciones son (Gay, Carlos y Rueda, José. 2012):

1. La creación de programas nacionales y regionales que ayuden a mejorar la calidad de los factores de emisión, datos de actividad, costo beneficio y la actualización de los inventarios nacionales.
2. La creación de programas nacionales de mitigación y adaptación al cambio climático.

¹⁶ Los efectos de estos seis gases fueron mencionados en el apartado anterior de este capítulo, como principales responsables del calentamiento global y el cambio climático.

¹⁷ Ver anexo de datos: Cuadro A.1.

¹⁸ Según la propuesta inicial de 1997, los países firmantes debían lograr que en el plazo que va de 2008 a 2012 las emisiones de GEIs descendieran un 5.2 % por debajo de las registradas en 1990. En la cumbre de Bonn (julio de 2001) ese límite se fue fijado en un 1.8 %, ya que de lo contrario se corría el riesgo de que el Protocolo no se ratificara.

3. Se pide a las partes a promover la transferencia de tecnología y conocimientos científicos y técnicos que ayuden a reducir la incertidumbre del cambio climático.
4. Se debe fomentar la cooperación para la educación y capacitación para formar cuadros especializados en el tema en los ámbitos humanos e institucionales.

El Protocolo de Kioto es controversial, además de ser criticado pues es necesario entender que aunque el Protocolo inste a todos los países que forman parte de él a combatir los efectos de los GEI y el cambio climático, no es obligatorio y por tanto, si algún país no cumple con lo pactado, no será merecedor de algún tipo de sanción y puede o no ratificar su firma, debido a que no hay un cuerpo institucional que lo regule.

1.3.3 Conferencia Mundial sobre el Cambio Climático – Partes de la Convención (COP)

En 1992 se celebra la Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro, Brasil. En esta cumbre participaron 172 naciones, incluidos 108 líderes de estado. Debaten sobre: los sistemas de producción, combustibles fósiles, emisiones de vehículos, congestionamiento de ciudades, problemas de salud, contaminación y la escasez del agua; todos estos temas relacionados con el cambio climático.

Esta Cumbre da origen a la Convención Marco sobre el Cambio Climático de la Naciones Unidas (CMNUCC), 195 países las han ratificado, a cada una de ellas se le denomina “parte de la convención – COP”. Fue en 1995 que se celebra en Berlín, Alemania la primera COP pero fue hasta 1997, en Japón que logró llegar a un acuerdo concreto con el Protocolo de Kioto.

El objetivo fundamental de la COP es impedir la interferencia peligrosa del ser humano en el sistema climático. En la práctica, la Convención fija el objetivo de estabilizar las emisiones de GEI a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático. Se declara asimismo que ese nivel debería lograrse en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegurar

que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitir que el desarrollo económico prosiga de manera sustentable¹⁹.

En la Convención se pide el establecimiento de inventarios precisos y periódicamente actualizados de las emisiones de GEI de los países industrializados. El primer paso para resolver el problema es conocer sus dimensiones. Con pocas excepciones, el año de referencia para calcular las emisiones de GEI ha sido 1990. Se alienta también a los países en desarrollo a que elaboren inventarios.

Los países que han ratificado el tratado deciden tener en cuenta el cambio climático en los asuntos relacionados con la agricultura, la industria, la energía, los recursos naturales y las actividades que afectan a los litorales marinos. Acuerdan también establecer programas nacionales para frenar el cambio climático.

En virtud de la Convención, las naciones industrializadas se comprometen a respaldar actividades relacionadas con el cambio climático en los países en desarrollo, ofreciéndoles entre otros apoyo financiero, sin perjuicio de la asistencia que se lleva prestando a dichos países. Se ha establecido un sistema de donaciones y préstamos a través de la Convención, que es administrado por el Fondo para el Medio Ambiente Mundial. Los países industrializados han acordado también compartir las tecnologías con las naciones menos avanzadas.

En los primeros años de la Convención, la adaptación recibió menos atención que la mitigación, ya que las Partes deseaban tener una mayor certeza de la vulnerabilidad al cambio climático y los impactos de este. Cuando se publicó el Tercer informe de evaluación del IPCC²⁰, la adaptación recibió más atención, y las Partes acordaron un

¹⁹ Fuente: www.unfccc.int

²⁰ Intergovernmental Panel on Climate Change por sus siglas en inglés y Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático al español. Es el órgano internacional encargado de evaluar los conocimientos científicos relativos al cambio climático. Fue establecido en 1988 por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) para facilitar a las instancias normativas evaluaciones periódicas sobre la base científica del cambio climático, sus repercusiones y futuros riesgos, así como las opciones que existen para adaptarse al mismo y atenuar sus

proceso para hacer frente a los efectos adversos y para establecer medios de financiar la adaptación. Actualmente la labor de adaptación se lleva a cabo en el marco de varios órganos de la Convención.

La vigésimo primera edición, COP21, tuvo lugar en París, Francia, entre el 30 de noviembre y el 11 de diciembre del 2015. En esta convención, participaron 150 jefes de estado y de gobierno, delegados de 195 países y representantes de la sociedad civil. Los objetivos principales son:

Primero limitar el aumento de la temperatura global en menos de 2 °C para 2100, para lograrlo es necesario reducir las emisiones de GEI en un 40 % para 2030 y a un 60 % en 2040. Y segundo, consolidar el Fondo Verde Climático²¹ que para el 2020 deberá acumular 100,000 millones de dólares, este dinero se ocuparía para apoyar proyectos contra el cambio climático en los países en vías de desarrollo.

1.4 Economía, ambiente y energía: La relación

El mercado energético se convirtió en uno de los titanes de la economía mundial después de la Segunda Revolución Industrial en el siglo XIX, surgida en los Estados Unidos, esta revolución tiene como entes principales al petróleo, el gas natural y el acero. El petróleo y sus derivados fueron ganando terreno por ser un combustible barato en sus inicios, pues de ellos podían producirse otro tipo de energías como la eléctrica o calorífica, tanto para uso doméstico como para uso industrial. Desde entonces, la carrera de las naciones para la producción, extracción, compra y venta de petróleo y gas natural, no se ha detenido.

efectos. Las evaluaciones del IPCC proporcionan una base científica a los gobiernos, para la formulación de políticas relacionadas con el clima, y sirven de apoyo para las negociaciones de la (CMNUCC). Fuente: www.ipcc.ch

²¹ El Fondo Verde Climático (GCF, por sus siglas en inglés). Propuesto por México, como mecanismo financiero de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático durante la celebración de la COP 16 en Cancún y adoptado hasta finales de 2011. Su objetivo es contribuir de manera ambiciosa a la consecución de los objetivos de mitigación y adaptación al cambio climático de la comunidad internacional. Fuente: www.fianzascarbono.org

De igual manera, el consumo de estos hidrocarburos fósiles ha ido en aumento y el resultado de ello son los efectos ambientales y climáticos negativos que antes se mencionaron.

Tomando en cuenta lo anterior, volvamos al concepto de desarrollo sustentable, pues en él se incluyen a la economía, el ambiente y la sociedad, y a su vez se incluirá el tema “energía” desde el punto de vista de la explotación del petróleo, gas natural y el carbón, es decir, recursos naturales. Por tanto, se retomarán algunos conceptos básicos.

1.4.1 ¿Qué es la economía?

La economía es el estudio de cómo las sociedades utilizan recursos escasos para producir bienes valiosos y distribuirlos entre diferentes personas. Tras esta definición, se esconden dos ideas clave en la economía: los bienes son escasos y la sociedad debe utilizar sus recursos con eficiencia. Nuestro mundo es uno de escasez, lleno de bienes económicos. Una situación de escasez es aquella en la que los bienes son limitados en relación con los deseos (Samuelson – Nordhaus, 2005).

1.4.2 ¿Qué es la economía ambiental?

La economía ambiental es la disciplina encargada de investigar qué tan irreversibles han sido los cambios que el hombre ha ocasionado sobre la Tierra y el medio ambiente en el incesante consumo de recursos naturales que realiza (García, Benjamín. 2000).

Asimismo, la economía ambiental busca analizar problemas que ocurren en la frontera entre los aspectos sociales y las ciencias naturales. De esta manera, la economía ambiental expande los alcances del análisis económico convencional permitiendo la consideración del ambiente como un factor económico de igual importancia que el capital humano y la tecnología (Enríquez, 2008).

También se puede argumentar que la economía ambiental considera que el deterioro ambiental (contaminación, cambio climático, daños a la flora y la fauna, etc.) son en

realidad el resultado de problemas cuyo origen es más bien político, social y económico, es decir, de origen antropogénico. Además, la escasez de recursos naturales ha sido un tema recurrente en el pensamiento económico desde el surgimiento de la economía como una disciplina independiente hace poco más de dos siglos (Randall, 1987).

Todos estos argumentos encaminan al problema económico general de la asignación de recursos naturales escasos, el punto donde la ciencia económica y las ciencias ambientales convergen unas con otras y como se dijo anteriormente, la economía se encarga de la administración de recursos escasos.

1.4.4 ¿Qué es un recurso escaso?

Un recurso escaso es aquel que posee cierta utilidad y que, al mismo tiempo, no está disponible sin esfuerzo alguno, y que satisface una necesidad determinada. Adicionalmente, recurso escaso es aquel que tiene valor, es decir, que los individuos están dispuestos a renunciar a otras clases de utilidad que proporcionan otros elementos con tal de obtener sus beneficios (García, Benjamín. 2000).

1.4.5 Recurso natural

Son todos aquellos bienes materiales y servicios que proporciona la naturaleza para satisfacer las necesidades y deseos humanos. Estos recursos son valiosos para los seres humanos porque contribuyen directamente a su bienestar y desarrollo de manera directa. Por ejemplo: materias primas, minerales y alimentos (Vega, J. y Ramírez, S. 2014).

Con estas definiciones, se afirma que los hidrocarburos fósiles son bienes limitados -debido a que no son renovables y por consiguiente son escasos-, aun con los recientes descubrimientos de yacimientos de petróleo y gas natural que garantizan el abastecimiento de energéticos y energía eléctrica durante un largo periodo para la humanidad, es necesario entender que eventualmente llegarán a su fin, además de que la energía derivada de los

hidrocarburos fósiles no siempre es eficiente, genera contaminación y no todos los individuos tienen acceso a ella.

Asimismo, la energía como tal es un elemento estratégico económico fundamental y las políticas energéticas que tomen las naciones nunca podrán estar separadas del factor económico, debido a que si existe la disponibilidad suficiente de energía, se podrá aplicar para la producción de otros bienes materiales.

Desde el aspecto social y demográfico, considerar el consumo de energía con respecto a la evolución de la población mundial, deja de manifiesto que en las últimas décadas y con la sobrepoblación que tiene nuestro planeta, es el factor principal que desequilibra a la energía, al medio ambiente y también al resto de los recursos (naturales principalmente).

1.5 Panorama energético actual

El principio de todo: la energía. La historia del hombre siempre ha estado ligada directamente a ella, desde la luz solar como elemento fundamental para la creación de vida en nuestro planeta hasta la bomba atómica. El hombre aprendió a explotar la energía pero nunca se imaginó que su propia avaricia lo llevaría a una situación insostenible y sumamente peligrosa; una situación donde unos pocos controlan los recursos de muchos, o mejor dicho, los de todos (*Power – El Poder detrás de la Energía*, 2014).

En el mundo se habla muy poco de cuál es el estado real de los recursos energéticos no renovables: petróleo, gas natural y carbón, pues la mayor parte del tiempo, este tema es reemplazado por los discursos como “Las energías renovables son el futuro” y “No hay de qué preocuparse, se trabaja en buscar nuevas reservas”.

Lo que no se menciona es que el futuro nos está alcanzando y con él, una crisis energética y ambiental inminente pues en muchos casos, las reservas mundiales no podrán cubrir ni una semana del consumo energético que requiere el mundo y su uso incesante

pone en riesgo al ambiente, lo cual es el resultado de una guerra de intereses de aquellos que acaparan la industria energética a través de los hidrocarburos.

Sin embargo, no hay que ser fatalistas, los recursos energéticos no renovables no se acabarán inmediatamente, pero la escasez de la oferta ante el aumento de la demanda por el crecimiento de la población mundial, cuestionará el crecimiento económico basado en hidrocarburos fósiles.

El juego de la oferta y la demanda, así como el poder que otorga a los países exportadores el control de la producción, pueden convertirse en cualquier momento en un factor de inestabilidad económica a nivel mundial. Esta circunstancia se dio en 1973, en la denominada Crisis del Petróleo, cuando se puso en crisis a la economía occidental con la subida de los precios del petróleo.²²

1.5.1 Los hidrocarburos: ¿Cuál es su presente y futuro?

Como ya se sabe, la mayor parte de las naciones en el mundo, tienen un sistema energético basado en petróleo, gas y carbón, especialmente las naciones industrializadas; ya sea porque son productores o compradores, el petróleo rige al mercado energético mundial.

De acuerdo con la revista Forbes México, Venezuela e Irán controlan las mayores reservas probadas del planeta de petróleo y de gas natural, respectivamente, pero están lejos de explotarlas al máximo. Arabia Saudita y Estados Unidos siguen siendo los mayores productores mundiales de crudo y gas. Estados Unidos es actualmente el segundo mayor productor mundial de petróleo y aspira a ser el primero dentro de dos años, superando a Arabia Saudita, gracias a la perforación hidráulica de gas y petróleo, de acuerdo con estimaciones de la Agencia Internacional de Energía (AIE, por sus siglas en inglés)²³.

En los últimos años el mundo ha pasado a tener más petróleo y menos gas. Las nuevas tecnologías que han hecho viable la explotación de crudos pesados han elevado las

²² Enciclopedia Temática Ilustrada: Vol. 12 – Ecología y Medio Ambiente. 2003. Pág. 53.

²³ Muciño, Francisco. *Los países más ricos en Oro Negro* (2014). <http://www.forbes.com.mx/los-paises-mas-ricos-en-oro-negro/> [Fecha de consulta: Junio de 2015]

reservas mundiales de petróleo. Y la rebaja de las estimaciones de las reservas de gas natural que se atribuyen a algunos países de la ex Unión Soviética ha hecho que los inventarios globales disminuyan.

Es así que entre más petróleo, menos gas; lo cual representa cambios en las posiciones de las grandes potencias energéticas, pues en los dos últimos años han cambiado los países que encabezan las listas; en el 2012 Venezuela se confirmaba como el poseedor de las mayores reservas de petróleo del mundo, desbancando a Arabia Saudita; ahora con la apertura comercial de Irán, este país se convierte en la principal potencia en gas, dejando atrás a Rusia.

Según el último *BP Statistical Review of World Energy – June 2013*, el planeta contaba con unas reservas probadas de petróleo de casi 1.67 miles de millones de barriles a finales de 2012, volumen suficiente para cubrir la producción mundial durante 53 años. El informe reduce las reservas mundiales de gas natural, que se quedarían en 187.3 miles de millones de metros cúbicos, un 10 % por debajo de los niveles de un año antes. Tras la rebaja de las reservas globales, que se debe casi enteramente a la reducción de las reservas atribuidas a Rusia, el planeta tendría cubierta la producción durante 56 años.

Sin embargo, tener grandes reservas no implica necesariamente poder explotarlas al máximo. Venezuela está lejos de aprovechar el potencial de sus enormes reservas, la producción venezolana ha caído de forma persistente durante la última década. Venezuela concentra casi el 18% de las reservas mundiales, pero su producción apenas representa un 3.4 % del total mundial, apenas 2.7 millones de barriles diarios, lo que lo deja fuera de los primeros diez países que más petróleo sacan de sus yacimientos.

El mayor productor mundial de crudo sigue siendo Arabia Saudita, con 11.5 millones de barriles diarios, el 13.3 % del total global, además de ser uno de los países con mayor influencia en los precios del petróleo. Hasta 2013, los otros dos grandes productores mundiales de petróleo eran Rusia con 10.6 millones de barriles diarios y Estados Unidos

con 8.9 millones de barriles diarios. Muy por detrás se encuentran China con 4.1 millones de barriles diarios, Canadá con 3.7 millones e Irán 3.6 millones.²⁴

La situación es similar en el sector mundial de gas, donde Irán se convierte, según el informe BP, en el país con mayores reservas del planeta, con 33.6 miles de millones de metros cúbicos, dejando atrás a Rusia. Sin embargo, aunque Irán cuente con las más grandes reservas, EU sigue siendo el mayor productor mundial de gas natural.²⁵

Es por eso que las naciones productoras de petróleo y gas natural son las que abastecen al mundo de estos hidrocarburos necesarios para mover a todas las industrias y otros sectores económicos de las naciones; y también cuentan con las mayores reservas que pueden garantizar el abastecimiento de los mismos.

Sin embargo, es importante distinguir la diferencia entre los conceptos de recursos naturales y el de reservas, las cuales son constituidas por aquellos recursos económicamente obtenibles con las tecnologías disponibles. En esta perspectiva, las reservas energéticas probadas son limitadas (García, Benjamín. 2000).

En un sentido más ambientalista, un estudio realizado por la *University Collage of London*, da a conocer qué recursos no deberían ser tocados antes de 2050 para evitar que el calentamiento global aumente. Explica que si queremos evitar que la temperatura aumente en más 2°C, el ser humano debería dejar intacta una tercera parte de las reservas de petróleo, la mitad de las reservas de gas y más del 80 % de las reservas de carbón actuales de nuestro planeta. Los autores de este estudio financiado por el *Energy Research Centre* del Reino Unido muestran que la gran mayoría de las reservas de carbón de China, Rusia y EU deberían permanecer intactas. Arabia Saudita también debería dejar de usar el 60 % de sus reservas de gas si se quiere conseguir el objetivo de evitar un calentamiento excesivo de la temperatura de la atmósfera y de los océanos de la Tierra²⁶.

²⁴ Ver anexo de datos. Cuadro A4.

²⁵ Ver anexo de datos. Cuadro A5.

²⁶ Úbeda, Marta. *Recursos que no hay que tocar hasta 2050 para limitar el calentamiento global*. 2013.

Fuente: www.elciudadano.cl

1.6 Energías sustentables para la nueva era

En un mundo donde el uso de combustibles fósiles ha contribuido al rápido deterioro del ambiente, así como del cambio climático surgen como opciones viables las energías sustentables.

Estas energías sustentables llegan en distintas formas y en distintos conceptos: energías renovables, energías limpias y energías alternativas. Cada una cumple con el objetivo de causar un daño nulo o mínimo al ambiente haciendo uso de la tecnología para su aprovechamiento, además de satisfacer las necesidades energéticas del ser humano. Ahora bien, aunque en esencia pueden ser lo mismo por cumplir los requisitos para ser parte del desarrollo sustentable, no son lo mismo. Entonces, ¿qué las hace iguales y al mismo tiempo diferentes? La respuesta a continuación.

1.6.1 Recursos renovables y energías renovables

Anteriormente se definió a los recursos naturales pero para definir a las energías renovables, es menester definir qué es un recurso natural renovable.

Un recurso natural renovable se mide según su disponibilidad de tiempo, su tasa de recuperación y rapidez de uso o consumo. Es decir, los recursos son renovables si su tasa de recuperación es superior a la de su extracción. La energía solar es renovable pues es inagotable, los recursos geotérmicos también lo son pero pueden agotarse si se sobreexplota su calor sin dar tiempo para su regeneración.

Teniendo claro lo anterior, se definen a las energías renovables como formas de energía que tienen una fuente prácticamente inagotable con respecto al tiempo de vida de un ser humano en el planeta, y cuyo aprovechamiento es técnicamente viable. Dentro de estos tipos de energía se encuentran: la solar, la eólica, la hidráulica, la biomasa, la geotermia y la oceánica, es decir, provienen de recursos naturales renovables.

Las energías renovables ofrecen la oportunidad de obtener energía útil para diversas aplicaciones, su aprovechamiento tiene menores impactos ambientales que el de las fuentes

convencionales y poseen el potencial para satisfacer todas las necesidades de energía presentes y futuras. Además, su utilización contribuye a conservar los recursos energéticos no renovables y propicia el desarrollo regional.

1.6.2 Energías Limpias

Las energías limpias, como su propio nombre indica, no dañan el medio ambiente. Por un lado, porque su producción puede no provocar la emisión de gases contaminantes a la atmósfera o, en su defecto, las emisiones son mínimas y por tanto, no contribuyen al aceleramiento del cambio climático, el calentamiento global o el agujero de la capa de ozono. Los ejemplos más claros de este tipo de energías son el gas natural, la energía nuclear, la biomasa y la geotermia, son energías limpias por sus bajas emisiones de GEI, y algunas de ellas también son energías renovables. A su vez, al resto de energías renovables, también se les considera energías limpias porque no generan contaminación alguna.

1.6.3 Energías Alternativas

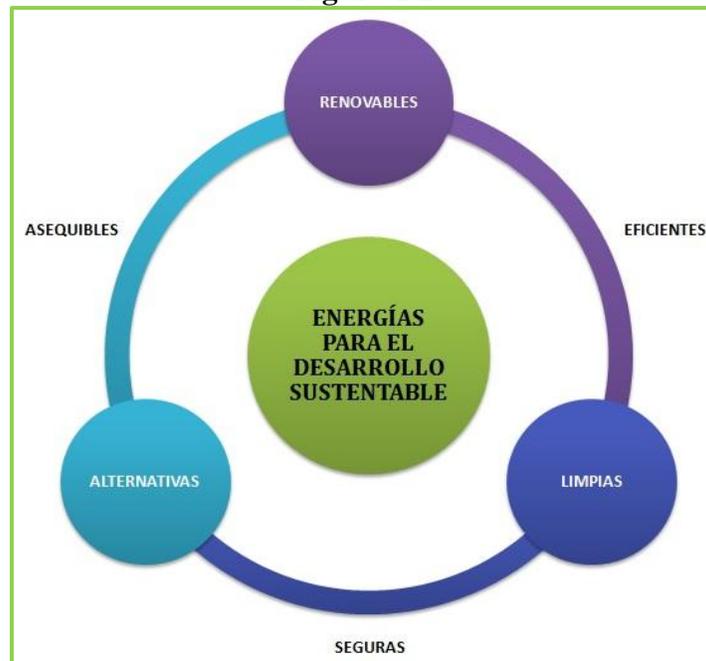
Genéricamente, se denomina energía alternativa a aquellas fuentes de energía planteadas como alternativa a las fuentes de energía tradicionales (gas, carbón, petróleo). No obstante, no existe un consenso exacto respecto a qué tecnologías están englobadas en este concepto, y la definición de energía alternativa puede diferir.

En las definiciones restrictivas, la energía alternativa sería equivalente al concepto de energía renovable o energía limpia, mientras que las definiciones más amplias consideran como energías alternativas a todas las fuentes de energía que no implican la quema de combustibles fósiles (carbón, gas y petróleo). En estas, además de las renovables, está incluidas la energía nuclear e incluso la del hidrógeno.

Las energías alternativas se pueden dividir en dos grupos. Por un lado, se encuentran las energías renovables como la biomasa (biogás y biodiesel) y por otro la energía nuclear.

Algo curioso sobre las energías limpias y las energías alternativas es que no todos coinciden en clasificar la energía nuclear dentro de alguna de ellas, pues al igual que los combustibles fósiles, los recursos minerales que se usan para su obtención son finitos y su explotación genera contaminación, además presenta problemas ambientales importantes, como la gestión de los residuos radiactivos y la posibilidad de un accidente nuclear. Sin embargo, la reducida emisión de CO₂ de esta tecnología, y la todavía insuficiente capacidad de las energías renovables para sustituir completamente a los combustibles fósiles, hacen de la energía nuclear una alternativa energética limpia pero sujeta a fuerte polémica.

Figura 1.2



Fuente: Elaboración propia.

Otro punto a señalar es que los tres tipos de energías (renovables, limpias y alternativas) tienen algo muy importante en común:

Son eficientes porque la tecnología usada para su obtención es innovadora y de alto rendimiento, haciendo que su aprovechamiento sea alto y de bajas pérdidas energéticas. Son asequibles porque sus costos de generación de energía son menores y personas en situaciones desfavorecidas económicamente pueden tener acceso a ellas sin la necesidad de

grandes infraestructuras. Son seguras porque su daño ambiental y a la salud es nulo o mínimo, dependiendo el caso.

Las energías renovables, limpias y alternativas ofrecen la oportunidad de obtener energía útil para diversas aplicaciones, su aprovechamiento tiene menores impactos ambientales que el de las fuentes convencionales y poseen el potencial para satisfacer todas las necesidades de energía presentes y futuras. Además, su utilización contribuye a conservar los recursos energéticos no renovables y propicia el desarrollo regional. Todo esto, coloca a estas energías como el camino hacia un mundo donde la transición energética hacia un mundo más sustentable es posible.

Sumando todo lo mencionado anteriormente, y considerando que los precios del petróleo en los últimos años han tenido variaciones extremas; la necesidad de una transición energética es fundamental para las naciones, considerando principalmente que las energías renovables garantizan un futuro menos riesgoso para el ambiente y para las sociedades. También debe considerarse que esta transición energética requiere un esfuerzo constante y con visión a largo plazo, pues es indispensable que cada medida sobre energía que se tome sea la correcta desde el punto de vista social y ambiental pero que al mismo tiempo sea adecuada económicamente hablando.

1.6.4 ¿Hacia dónde van las energías renovables?

Ya está claro que los recursos de la naturaleza son finitos, especialmente el de las energías no renovables. Por esa misma razón, es necesario preguntarse ¿qué significa la energía para una nación y su sociedad? ¿es solo luz, entretenimiento, internet, transporte, calefacción? La energía es mucho más que esto, la energía es educación, salud, seguridad; aquello que los economistas llamamos desarrollo económico. A pesar de esto, y de acuerdo con el PNUD²⁷ alrededor de 1.3 billones de personas en el mundo no tienen acceso a la electricidad, es decir, una de cada cinco personas vive sin energía eléctrica.

²⁷ PNUD. Programas de las Naciones Unidas para el Desarrollo. UNDP por sus siglas en inglés. www.action4energy.com

Otro punto importante es que en la actualidad, aquellas personas que sí tienen acceso a la electricidad, contribuyen al agotamiento de los recursos energéticos consumiendo y produciendo en cantidades enormes, y esto implica la destrucción del ambiente y propicia el cambio climático. Aunque son dos desafíos distintos, tienen solución, tal vez no inmediata ni reversible, pues el calentamiento global es inminente pero puede hacerse que no sea tan acelerado como en las últimas décadas. ¿Cuál es la solución? Energías renovables.

Si se logra entender que los recursos naturales tienen un límite y se cambia el modelo energético, desde la obtención de recursos energéticos hasta el uso de energía y se comienza a buscar el potencial que tiene el uso de los recursos renovables con respecto a su rentabilidad, tanto económica como social, se podrá tener una visión más optimista [...] además, el decrecimiento de una nación no es opción y por eso se necesitan opciones energéticas viables; y si bien se sigue viendo al cambio climático como algo incierto y lejano, es más que seguro que este será un problema de grandes proporciones en el futuro (Riba, Sans y Torrents. 2013).

De acuerdo con el Banco Mundial, las cifras en el consumo final (mundial) de energía eléctrica a base de fuentes renovables de energía entre el año 2010 y 2012 fueron las siguientes²⁸:

- ➔ La proporción de energías renovables en el conjunto de fuentes de energía mundial aumentó de 17.8 % en 2010 a 18.1 % en 2012. El aumento anual del consumo de energías renovables modernas (que excluye los biocombustibles sólidos utilizados para fines tradicionales) llegó a 4 % en 2012.
- ➔ Las tecnologías de energías renovables representaron la mitad de todos los aumentos en la capacidad. También sirvieron de ayuda los menores costos de la tecnología, especialmente el caso de las células solares fotovoltaicas.

El Banco Mundial también explica que aunque existen brechas importantes, la buena noticia es que se pueden superar si se toman las medidas adecuadas:

²⁸ Banco Mundial. *¿El mundo está cerca o lejos de alcanzar los objetivos de energía sostenible?* 2015.

Fuente: www.bancomundial.org

- ➔ La inversión mundial anual en energía deberá triplicarse hasta alcanzar los 1.25 billones de dólares. De este monto, se necesitan entre 40,000 millones de dólares y 100,000 millones de dólares anuales para lograr el acceso universal a la energía eléctrica..
- ➔ Los países con menor capacidad necesitarán acceder a las tecnologías de energía limpia de vanguardia y a los conocimientos relacionados

Es por eso que es importante tener una mejor comprensión del vínculo entre la energía y otros sectores económicos importantes para el desarrollo de un país, como los del agua, la agricultura, el género, la alimentación, la educación, desarrollo tecnológico y la salud para conseguir los objetivos de energía renovable que encamine a un mundo más sustentable.

Está claro que mientras los combustibles fósiles sigan rigiendo el mercado energético no se podrá tener un cambio en las políticas energéticas si primero no se comprenden las tendencias y consecuencias del uso de la energía, de los recursos naturales y de la evolución de la población mundial. Es por eso que las energías renovables son la opción hacia una nueva era energética pues son energías asequibles, económicas, limpias y eficientes.

Otros de los beneficios de las energías renovables es que al invertir en este tipo de energías, se crean empleos, fomenta el crecimiento económico y la mejora de la seguridad energética para los países que carecen de hidrocarburos fósiles; pueden reducir las emisiones de GEI y la contaminación local; alejar a los países de la volatilidad del precio de los combustibles; y mejorar la balanza de pagos de las naciones.

Algunos escenarios recientes estiman que las energías renovables contribuirán mucho más al suministro de energía baja en carbono para el año 2050 que la energía nuclear. Por otra parte, las energías hidráulica y geotérmica han sido durante mucho tiempo bastante competitivas, pues muchos países disponen de los recursos para generar energía a partir de estas fuentes de energía; con lo que respecta al viento y la energía solar son también económicamente atractivos. Es por ello que es necesario el apoyo de los gobiernos a través de políticas públicas que permitan fortalecer el nivel de la inversión pública hacia las energías renovables.

CAPÍTULO 2

LAS ENERGÍAS RENOVABLES

Es momento de pasar al análisis técnico de las energías renovables porque para entenderlas es necesario partir de los conceptos básicos sobre la energía y cómo funciona, para entender su tecnología y comprender a la energía misma, y a dos de sus derivados más importantes, la electricidad y los biocombustibles. Por lo anterior, es necesario tener un conocimiento sobre la física e ingeniería básica para entender el análisis de este capítulo.

2.1 ¿Qué es la Potencia?

Este término es bastante cotidiano. Si se desea adquirir un electrodoméstico o si se habla de autos deportivos nos interesa saber su potencia. En física su definición y/o significado es el siguiente:

“La potencia se define como la rapidez con que se realiza un trabajo, por lo que se calcula dividiendo el trabajo realizado por el tiempo invertido en llevarlo a cabo.

$$\text{Potencia} = \frac{\text{Trabajo Realizado}}{\text{Tiempo Invertido}} \quad P = \frac{W}{t}$$

Un electrodoméstico es muy potente si tarda poco tiempo en realizar un trabajo, por ejemplo, tostar el pan, o un automóvil tiene más potencia cuando puede realizar el mismo recorrido que otro, empleando menos tiempo”²⁹.

²⁹Enciclopedia Temática Ilustrada: Vol. 6 - Física y Química. Thema Equipo Editorial, S. A. 1ra edición. España. 2003. Pág. 36.

2.2 ¿Qué es la Energía?

De la energía se conocen sus manifestaciones e importancia. Se puede definir en función del uso que se le dé, así, hablamos de energía mecánica, calorífica, eléctrica, química, eólica o nuclear. La pregunta principal es ¿qué tienen ellas en común para ser llamadas energía? Pues bien, desde el punto de vista de la física se dice lo siguiente:

“Un cuerpo tiene energía cuando es capaz de realizar un trabajo. Si un cuerpo posee energía, puede cambiar algo de sí mismo o algo de otro cuerpo. Y viceversa, cuando un cuerpo recibe energía, algo suyo se modifica. La característica interesante de la energía es su gran capacidad para transmitirse de un cuerpo a otro.

Si se considera un tipo de energía como la eléctrica, sabemos que la electricidad puede ejercer una fuerza y producir un desplazamiento, como mover las aspas de un ventilador, o bien, transformarse en otro tipo de energía como la calorífica en un hornillo. De forma similar, cuando la gasolina se quema transfiere su energía a un automóvil y lo pone en movimiento. La gasolina posee un tipo de energía que llamamos química”³⁰

2.2.1 Tipos de energía

De la energía se sabe de sus manifestaciones y su importancia. Cuando se habla de las energías renovables, estas son generadas por otros tipos de energías con el fin de generar energía eléctrica o combustibles de origen natural (biogás y biocombustibles). En el Cuadro 2.1 se definen a los distintos tipos de energía según su origen:

³⁰Enciclopedia Temática Ilustrada: Vol. 6 - Física y Química. Thema Equipo Editorial, S. A. 1ra edición. España. 2003. Pp. 36-37.

Cuadro 2.1

| TIPOS DE ENERGÍA | |
|--------------------------|---|
| Energía Mecánica | Es la energía que presentan los cuerpos en razón de su movimiento (energía cinética). Esta energía se calcula teniendo en cuenta el movimiento o la posición de los objetos. La energía mecánica incluye es la suma de las energías potencial y la energía cinética ³¹ . Entre los tipos de energía mecánica se pueden contar los siguientes: energía hidráulica, energía eólica y energía mareomotriz. |
| Energía Cinética | Es la capacidad que tiene un cuerpo de efectuar un trabajo debido a su movimiento. ³² |
| Energía Química | Hace referencia a la composición, la estructura y las propiedades de la materia. Y las modificaciones que experimenta la materia producida por reacciones químicas ³³ . Un ejemplo de energía química es la que desprende el carbón al quemarse, todas las baterías poseen energía química, así como la energía de la biomasa. |
| Energía Térmica | Es la energía liberada en forma de calor, es decir, pasa de un cuerpo más caliente a otro que presenta una temperatura menor. Puede ser transformada tanto en energía eléctrica como en energía mecánica ³⁴ , la energía geotérmica y la solar son el ejemplo más claro de este tipo de energía. |
| Energía Eléctrica | Es la forma de energía que resultará de la existencia de una diferencia de potencial entre dos puntos, situación que permitirá establecer una corriente eléctrica ³⁵ entre ambos puntos si se los coloca en contacto por intermedio de un conductor eléctrico. La energía eléctrica es capaz de transformarse en muchísimas otras formas de energía como: la energía luminosa, la energía térmica o la energía mecánica. |

Fuente: Elaboración propia.

2.2.2 Unidades de la energía

Las unidades con las que se calcula la energía, son casi las mismas que las que se emplean para expresar el trabajo y en ocasiones se usan otras unidades de medida de energía.

- **Caloría:** Cuando se habla de energía calorífica se suele medir en calorías (cal).

³¹Enciclopedia Temática Ilustrada: Vol. 6 - Física y Química. Thema Equipo Editorial, S. A. 1ra edición. España. 2003. Pág. 37.

³²Torres, Juan Carlos y Quero Mota, Arturo. Física – Cuaderno de Ejercicios. 2001. Pág. 91.

³³ www.definicion.de - Definición de energía química - Qué es, Significado y Concepto.

³⁴ Fuente: www.definicionabc.com.

³⁵ Es el flujo continuo de electrones en un conductor. Fuente: Manual LUMINEX de México. Introducción a la electricidad e Instalaciones comerciales y residenciales. 1995.

- **Watt:** Es la unidad de medida de la potencia eléctrica. 1 watt es el trabajo que efectúa en 1 segundo una corriente eléctrica constante de 1 amper que circula bajo la presión de 1 volt. Esta medida lleva este nombre en honor al ingeniero inglés James Watt³⁶. Un watt por una hora es un watt-hora (Wh), mil watts-hora son un kilowatt-hora (KWh).
- **Potencia eléctrica:** Se define como la rapidez con la que se realiza el trabajo eléctrico. Se calcula dividiendo el trabajo eléctrico realizado por el tiempo invertido en llevarlo a cabo: $P = \frac{W}{t}$, donde w es el trabajo y t es el tiempo³⁷.
- **Joule:** Es la unidad de trabajo y energía eléctrica (j). En el lenguaje de la energía, el trabajo desempeñado a una razón de 1 joule/segundo (J/s) es 1 watt (W) de potencia, mientras que el watt es la unidad más conocida para medir la energía eléctrica. Para hacer la medición de grandes cantidades de energía (miles y millones), se utiliza el joule; en un término más específico, el petajoule. (PJ) que sería watts x 10^{15} (PJ = 10^{15})

2.2.3 Conservación de la Energía

La propiedad más importante de la energía es que su cantidad total no varía. La energía no se crea ni se destruye, aunque con frecuencia varía su forma, es decir, solo se transforma. Esta es la ley de la conservación de la energía.³⁸

2.3 Energía primaria y Energía secundaria

Pasemos a otro punto muy importante y visto desde un sentido más económico. Es necesario darse cuenta del uso que se le da a la energía en el proceso de su obtención y transformación, por lo que se debe tener en cuenta cuatro conceptos básicos que se usarán para este trabajo de investigación y que son: energía primaria, energía secundaria, uso final

³⁶Manual LUMINEX de México (1995).

³⁷ Enciclopedia Temática Ilustrada: Vol. 6 - Física y Química. 2003. Pág. 36.

³⁸ Enciclopedia Temática Ilustrada: Vol. 6 - Física y Química. 2003. Pág. 38.

de la energía y satisfacción del uso de la energía. Para este capítulo se explicarán los primeros dos.

2.3.1 Energía primaria

Son los recursos naturales con potencial para proporcionarnos energía útil. Son ejemplos el petróleo, el gas natural, el carbón, el uranio, la biomasa, la energía hidráulica, la energía geotérmica, la energía eólica, la energía solar y la energía del mar (olas, corrientes marinas, mareas). Las energías primarias se distinguen entre recursos y reservas (Riba; Sans y Torrents. 2013).

2.3.2 Energía secundaria

Son formas de energía que se obtienen a raíz de la transformación de las energías primarias para adecuarlas al uso final. Son ejemplos los combustibles (gasolina, queroseno, propano, gas licuado, etc.) y la electricidad (Riba; Sans y Torrents. 2013).

2.4 ¿Qué son las energías renovables?

En el Capítulo 1 se definieron de manera básica, es momento de desarrollar la definición de las energías renovables. Algunas de sus definiciones son:

“Las energías renovables son aquellas cuya fuente reside en fenómenos de la naturaleza, procesos o materiales susceptibles de ser transformados en energía aprovechable por la humanidad, y que se regeneran naturalmente, por lo que se encuentran disponibles de forma continua. Las fuentes renovables de energía perdurarán por miles de años” (Alatorre, Claudio. 2014).

Otra definición de las mismas, es: *“se llama fuente de energía renovable a aquella, que administrada de forma adecuada, puede explotarse ilimitadamente, es decir, su cantidad*

disponible (en la Tierra) no disminuye a medida que se aprovecha” (Fernández, José Ma. 2009).

Con ambas definiciones se puede concluir que las energías renovables son inagotables y se encuentran al alcance para su aprovechamiento. Ahora bien, ¿por qué son importantes las energías renovables? La respuesta es clara.

Esto tipo de energías - que se utilizan para generar otras energías como la eléctrica, la calorífica y de combustión -, se obtienen a partir de recursos renovables como el viento, el agua, el sol, la biomasa y la energía geotérmica, las cuales son totalmente sustentables pues son obtenidas directamente de la naturaleza, además, los productos y servicios de este tipo de energías constituyen un segmento de rápido crecimiento en los mercados internacionales pues los costos de las tecnologías para capturar esas energías son bajos (a largo plazo principalmente pues la creación de estas tecnologías requiere de fuertes inversiones económicas) y empiezan a convertirse en un sector económicamente competitivo, al tiempo que reduce el riesgo de cambio climático.

De acuerdo con organización mundial *Sustainable Energy for All*, las energías renovables podrían suministrar una gran parte de la energía mundial para 2030. Y para lograr todo lo anterior, también se requiere el apoyo de todos los sectores cada país: público, privado y social.

Finalmente se ha llegado al punto donde se explicarán a cada una de las energías renovables, las cuales se pueden clasificar de distintas formas: por el origen primario de la energía, por el nivel de desarrollo de las tecnologías, y por las aplicaciones de las energías, es decir, su uso final. Y ya que en el mundo existen distintos tipos de energías renovables, a continuación, se hará un análisis técnico breve haciendo énfasis a sus características y cómo funcionan.

2.5 Biomasa

Se define a la biomasa como: “*toda forma en la naturaleza (plantas terrestres y acuáticas) o en residuos de materias o animales (agricultura o estiércol), que almacena energía solar* (Creus, 2014)”, es decir, cualquier tipo de materia orgánica de origen animal o vegetal, y que a través de un proceso de transformación artificial o natural, dan origen a la biomasa.

La biomasa está compuesta principalmente por materia orgánica formada por carbohidratos, es decir, compuestos de carbono, hidrógeno y oxígeno producidos en la superficie terrestre por organismos específicos. No se incluye dentro de la biomasa a aquella materia que estuvo viva y que sufrió cambios muy profundos en su composición, tales como los que han tenido el carbón o el petróleo.

El término biomasa es muy amplio y agrupa distintos tipos de residuos naturales que proporcionan según su origen y procesamiento, energía técnicamente útil desde el punto de vista económico en las tres formas físicas: sólido, líquido y gaseoso. La producción de biomasa cumple con los criterios del desarrollo sustentable, es decir, tiene las características de un recurso energético limpio y asequible si es aprovechada de manera eficaz.

Un kilogramo de biomasa genera alrededor de 3500 Kcal, mientras que un litro de gasolina proporciona 10,000 Kcal. El contenido energético de la biomasa se mide en función del poder calorífico del producto energético de la biomasa y se mide en función del poder calorífico del producto energético obtenido durante su tratamiento, o bien, en función del poder calorífico del recurso.

Las aplicaciones de la biomasa como fuente de energía alternativa son variadas, pero destaca la producción de energía térmica a través de la combustión de biomasa sólida y de biogás, la generación de energía eléctrica y una aplicación realmente importante como es la producción de biocarburantes, enfocados principalmente a medios de transporte.

A la energía obtenida de la biomasa también se le conoce como bioenergía, además, el término biomasa es muy amplio y agrupa distintos tipos de residuos naturales y de los

cuales se pueden obtener distintos tipos de energéticos, a través de diversos procesos de transformación del material orgánico.

2.5.1 Biocarburantes: ¿Qué son y cómo se obtienen?

El furor actual de los biocarburantes debe entenderse en el contexto del cambio climático y la necesidad de reemplazar el consumo de combustibles fósiles con formas de energías alternativas que emitan menor cantidad de GEI, y aunque inicialmente los biocarburantes eran considerados como una alternativa a la gasolina, se ha descubierto que también funcionan como aditivos que prolongan el uso de combustibles fósiles.

Los biocarburantes o biocombustibles son combustibles producidos a partir de la carga de biomasa a través de una serie de procesos químicos, la leña, residuos forestales, carbón vegetal, y desechos agrícolas como la paja, bagazo y otros materiales orgánicos son considerados biocombustibles. La principal forma para el aprovechamiento de la energía contenida en los residuos orgánicos es mediante su incineración (principalmente la leña y el carbón vegetal).

Los biocarburantes más importantes son el biodiesel (de aceite vegetal) y el bioetanol (derivado de plantas de azúcar principalmente). Estos biocombustibles pueden sustituir directamente a los combustibles fósiles usados en motores, pueden ser usados para calefacción y producción de electricidad. Existen varios tipos de biocarburantes, los cuales se explicarán a continuación.

2.5.2 Biodiesel

Se llama biodiesel al combustible derivado de biomasa, principalmente vegetal, que se utiliza reemplazando total o parcialmente a los combustibles fósiles. El biodiesel es un biocombustible líquido producido a partir de aceites vegetales, que puede ser usado puro o mezclado con petróleo de diesel en diferentes proporciones (Vega, Juan C. y Ramírez, Santiago. 2014). Es extraído principalmente de la soya y la semilla de girasol, se ha comprobado también, que pueden ser obtenidos de los residuos de aceite de cocina y residuos agroindustriales.

Además, tiene una gran ventaja medioambiental debido a que no contiene compuestos azufrados (SO_2 – dióxido de azufre) y su biodegradabilidad es muy superior a la presentada por los derivados del petróleo.

2.5.3 Biogás

Es un combustible gaseoso producido a través de la biomasa, este gas es principalmente metano y CO_2 , y en menor proporción, por nitrógeno, hidrógeno, oxígeno y sulfuro de hidrógeno (H_2S). El biogás es pues, principalmente metano, y se produce a partir de la degradación anaeróbica de la materia contenida en los residuos sólidos tanto urbanos como agrícolas (Vega, Juan y Ramírez, Santiago. 2014).

El gas metano, que representa alrededor del 70 % del volumen de los gases emitidos por la materia orgánica, tiene un alto valor calórico, un metro cúbico produce aproximadamente 5 KWh de electricidad, lo mismo que medio metro cúbico de gas natural. De la biomasa, este es su derivado con más uso, pues se utiliza para producir energía eléctrica mediante turbinas, plantas u otros sistemas de combustión, y también puede aprovecharse como combustible de uso doméstico en cocinas.

2.5.4 Bioetanol

Se obtiene de la fermentación alcohólica de los azúcares de la biomasa y puede transformarse en una serie de compuestos. Su producción se basa en las melazas azucaradas de la remolacha y la caña de azúcar principalmente. También puede extraerse del maíz y el trigo.

La fermentación alcohólica es en la que los azúcares simples se convierten en alcohol etílico y CO_2 [...], la fermentación es realizada principalmente por levadura, pues una de sus principales características es su capacidad para fermentar azúcares para la producción de alcohol (Fernández. 2009). Con este tipo de fermentación se pueden obtener bebidas alcohólicas como el whisky, la cerveza y el vino.

La producción de bioetanol para consumo humano con fines químicos y como combustible comenzó su investigación en la última década. Entre los países en los que se han llevado a cabo estudios intensivos sobre el bioetanol a partir de la sacarosa y el almidón está Brasil, dado que sus condiciones climatológicas hacen que pueda producir caña de azúcar en grandes cantidades. Sin embargo, la eficiencia del rendimiento de energía (relación oferta y demanda de energía) varía según la materia prima. La relación es la siguiente (Fernández. 2009):

- Remolacha 86 %
- Tapioca 50 %
- Papa 59 %
- Caña de azúcar 66 %
- Maíz 25 %

Puesto que el etanol se produce como fuente de energía, el balance de energía del proceso total de producción determinará su viabilidad económica. La razón principal es que el proceso de destilación del bioetanol es la que mayor energía exige durante el proceso [...], si el rendimiento de energía del bioetanol producido se relaciona con el aporte total de energía de las distintas etapas del proceso, existe un balance aproximado a una pérdida neta de energía (Fernández. 2009).

Figura 2.1 - Proceso de Producción de Bioetanol



Fuente: Elaboración propia con datos de Fernández Salgado. 2009.

En general, la biomasa es una fuente energética baja en emisiones de CO₂ al ser utilizada principalmente en el mundo para la calefacción y al ser transformada en los

biocarburantes, ya que el proceso de su combustión no afecta en el aumento de CO₂ hacia el ambiente, puesto que las plantas y los árboles al crecer captaron este gas de la atmósfera y ahora al quemarse se libera a la misma con niveles más bajos de polución. En algunos países es tal el éxito de estas energías, que por ejemplo, 20 % de la población de Suecia depende de la incineración de residuos orgánicos para su calefacción. El sistema es tan eficiente que los suecos han tenido que importar desechos del resto de Europa con tal de no quedarse sin combustible.

Cuadro 2.2

| Energía de la Biomasa | |
|--|---|
| Ventajas | Desventajas |
| Son capaces de producir electricidad. | La necesidad de grandes espacios para la producción agrícola genera cambios en el uso de suelo (serían destruidos). |
| Pueden usarse como combustible para medios de transporte y no contienen azufres. | El costo de obtención de las materias primas. |
| Sus emisiones son menores que las de los hidrocarburos. | El costo de producción. |
| El uso de combustibles de origen vegetal supone una ventaja económica para el sector agrícola. | El costo de obtención de aceites vegetales. |

Fuente: Elaboración propia.

2.6 Energía Eólica

En pocas palabras, la energía eólica es la energía producida por el viento. Históricamente, la energía eólica ha sido una de las fuentes de energía renovable más explotadas desde la antigüedad. De acuerdo a registros históricos, su principal uso fue para impulsar barcos de vela y para hacer funcionar los molinos de viento, los cuales han sido usados tradicionalmente para moler granos y especias; otra forma de uso de estos molinos fue para el bombeo de agua, especialmente en Holanda y el este de Inglaterra. Se cree que aparecieron en Europa durante el siglo XII.

Ya vista la relación de la energía eólica con el desarrollo de la humanidad, es momento de pasar a la parte más importante ¿de dónde viene el viento?

Los sistemas eólicos terrestres son debido al movimiento de las masas de aire como resultado de las variaciones de la presión atmosférica, originados a su vez por diferencias del calentamiento solar en las distintas partes de la superficie de la Tierra (Gil, Gregorio. 2009). Estas masas de aire se desplazan de zonas de alta presión hacia otras de baja presión generando viento que puede alcanzar altas velocidades, es por eso que la cualidad más importante de la energía eólica es su capacidad de transformar a la energía cinética del viento en energía mecánica y energía eléctrica.

Un punto clave para el uso de este tipo de energía es determinar la cuantificación del recurso eólico; para hacerlo se necesita realizar un estudio que incluye distintas variables dentro de una zona específica, entre esas variables está: la temperatura, altitud, precipitaciones, presión atmosférica, es decir, el clima; también se debe tener en cuenta la orografía del lugar y lo más importante, la velocidad y dirección del viento, ya que en la práctica se necesitan velocidades casi constantes y no inferiores a los 25 Km/hr para producir energía. El tiempo en que se realiza toda esta cuantificación es en el periodo de un año o más.

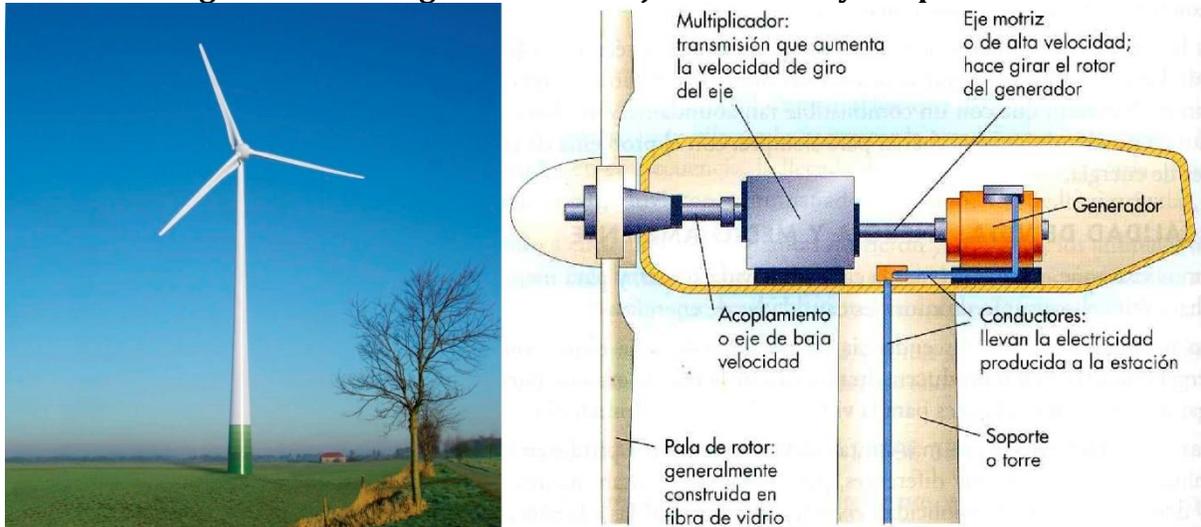
Actualmente, la energía del viento se aprovecha principalmente para producir electricidad con los llamados aerogeneradores, los modernos molinos de viento. La aplicación de aerogeneradores será determinada por el estudio antes mencionado con el fin de elegir el tipo de aerogenerador más adecuado según su potencia. Su principio de funcionamiento es sencillo: el viento mueve las aspas de la hélice, que a su vez y a través de un sistema de engranajes mueve un generador que produce electricidad (Madrid, Antonio. 2009). Es preciso mencionar que existen dos tipos de generadores y son los siguientes:

- **Aerogenerador de eje horizontal**

El aerogenerador de eje horizontal con tres aspas, de velocidad variable y de regulación del cambio del ángulo, permite girar las aspas en torno a su eje longitudinal para el control de

la potencia (Vega, Juan C. y Ramírez, Santiago. 2014). Su principal ventaja es que aunque los costos de inversión son altos, los costos de operación son económicos. Es eficiente, existen muchos modelos de aerogeneradores con distintas potencias y han sido probados ampliamente. Su principal desventaja es que no soportan adecuadamente los cambios de la dirección del viento.

Figura 2.2 – Aerogenerador de Eje Horizontal y sus partes



Fuente: Google Imágenes

▪ Aerogenerador de eje vertical

Su característica principal es que el eje de rotación se encuentra en posición perpendicular al suelo. Son menos empleados que los de eje horizontal, no necesitan un mecanismo de orientación, pueden operar con vientos de menores velocidades y requieren altos torques, es decir, fuerzas que permiten el giro (Vega, Juan C. y Ramírez, Santiago. 2014). Entre sus ventajas se encuentran que es silencioso, su eficiencia es aceptable, crea pocas vibraciones, es indiferente a los cambios de viento y la velocidad del mismo. Sus desventajas es que son costosos y poco probados.

Figura 2.3 - Aerogeneradores de Eje Vertical



Fuente: Google Imágenes

Con estas tecnologías aplicadas en masa, se tienen a los parques eólicos. Un parque eólico es una agrupación de aerogeneradores, dispuestos en un terreno apropiado. Los parques eólicos costa fuera tiene la ventaja de disponer vientos de velocidades mayores y más permanentes que los situados en tierra, requieren de una infraestructura y manutención compleja, además de costosa. (Vega, Juan C. y Ramírez, Santiago. 2014).

Figura 2.4 - Parques Eólicos



Fuente: Google Imágenes.

En el año 2000 Alemania lideraba el uso de energía eólica, seguido por EU y España. Con lo que respecta a América Latina, en ese mismo año solo Brasil y Argentina contaban con esta energía, con una capacidad instalada de 22 MW y 16 MW respectivamente. En la actualidad China tomó el liderazgo en el uso de esta energía y se encuentra a la vanguardia de la tecnología, mientras que Brasil logra estar entre los diez países con mayor capacidad

instalada de energía eólica, siendo el primer país de América Latina en lograrlo. Lo anterior, se menciona en el Cuadro 2.3.

Cuadro 2.3

| Capacidad de Energía Eólica en el Mundo, 2000 - 2015 (MW al año) | | | | |
|---|-------------------|-------------|-------------------|-------------|
| Lugar | País | 2000 | País | 2015 |
| 1 | Alemania | 6,095 | China | 124,710 |
| 2 | EU | 2,564 | EU | 67,870 |
| 3 | España | 2,535 | Alemania | 42,367 |
| 4 | Dinamarca | 2,417 | India* | 23,762 |
| 5 | India | 1,267 | España | 22,987 |
| 6 | Holanda | 440 | Inglaterra | 13,313 |
| 7 | Italia | 427 | Canadá | 10,204 |
| 8 | Inglaterra | 409 | Francia | 9,819 |
| 9 | China | 352 | Italia | 8,787 |
| 10 | Suecia | 241 | Brasil | 6,800 |

*A finales de marzo de 2015.

Fuente: Elaboración propia con datos de Global Wind Energy Council y la World Wind Energy Agency.

Económicamente hablando, el costo de los aerogeneradores cayó de manera significativa entre los años 80's y los recientes años 2000. En la actualidad, el viento es una de las fuentes de energía con mejor relación costo-beneficio para la producción de energía eléctrica y con el avance tecnológico, muchos países están logrando tener precios cada vez más bajos y mayor fiabilidad, lo cual trae consigo una mayor competitividad energética de esta energía renovable.

A continuación, en el Cuadro 2.4, se presenta las ventajas y desventajas de la energía eólica:

Cuadro 2.4

| Energía Eólica | |
|---|--|
| Ventajas | Desventajas |
| Energía segura y renovable. | No existe garantía de un suministro constante de energía. |
| No genera GEI ni residuos. | Impacto visual alto. |
| Su tiempo de construcción es rápido. | Impacto negativo sobre la flora y la fauna, especialmente aves. |
| Instalaciones compatibles con otros tipos de uso de suelos. Asimismo, pueden instalarse tanto en tierra como en mar. | Contaminación por ruido, si bien es de baja frecuencia, es constante. |
| Instalaciones fáciles de dismantelar para la recuperación de la zona donde fueron instalados. | Riesgo de ruptura (muy improbable). |
| Beneficio económico para la población donde son instaladas. | Generación de electromagnetismo y atracción de rayos. |
| Incentivan la inversión y generan empleo, se necesita personal capacitado para su manejo y mantenimiento. | Interfiere negativamente en las funciones operacionales de aviación (radares). |
| Tiene un costo energético estable. Una vez realizada la inversión, los aerogeneradores pueden trabajar por muchos años (30 aproximadamente), con un rendimiento apropiado si se hace el mantenimiento adecuado. | Es necesario frenar y/o detener los generadores con cierta frecuencia, ya que las aspas pueden alcanzar velocidades muy altas que provocan el desgaste del aerogenerador debido al estrés al cual están sometidos. |

Fuente: Elaboración propia.

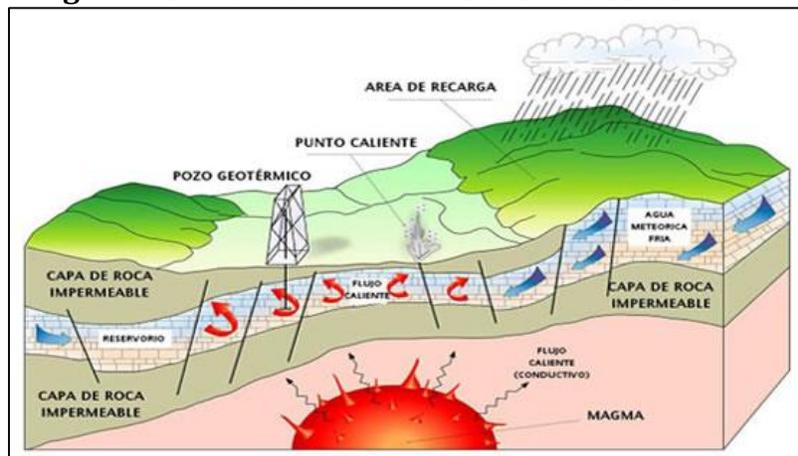
2.7 Energía Geotérmica

La energía geotérmica es aquella energía que se obtiene del calor natural interior de la Tierra y que se transmite por conducción térmica hacia la superficie. El conjunto de técnicas utilizadas para la exploración, evaluación y explotación de la energía interna de la Tierra se conoce como Geotermia (Vega, Juan C. y Ramírez, Santiago. 2014).

Cuando se habla de la energía geotérmica se debe hacer énfasis en los recursos geotérmicos de los cuales se aprovecha el calor que se encuentra en el interior de la Tierra,

principalmente en la litósfera, estos recursos conforman un sistema básico llamado “estructura de los sistemas geotérmicos”.

Figura 2.5 - Estructura de los Sistemas Geotérmicos



Fuente: Google Imágenes.

- a) **Fuente de calor:** Corresponde a un cuerpo de magma con temperaturas que van desde los 600°C a los 900°C, ubicado a 10km de profundidad y el cual transmite el calor a las rocas que la rodean.
- b) **Acuífero:** Es un depósito de agua que se filtra al subsuelo hasta una profundidad donde pueda ser calentada y se convierte en vapor; esta agua proviene de la lluvia o del curso de ríos y lagos. La energía geotérmica se obtiene del vapor emitido por esta agua.
- c) **Reservorio:** Es un conjunto de rocas que forman un almacén donde se encuentra el acuífero. Son estas rocas las que transmiten el calor al agua. El reservorio debe encontrarse a una profundidad adecuada para realizar los trabajos de perforación y extracción de vapor o agua caliente.
- d) **Cubierta impermeable:** Está formada por rocas de arcilla o las sales de las mismas fuentes termales, las cuales impiden el escape de los fluidos al exterior.

Los sistemas geotérmicos más comunes son:

- Sistemas de agua caliente o aguas termales.
- Sistemas de agua – vapor o géiseres.
- Sistemas de vapor en seco.
- Sistemas de rocas calientes secas.

Y a su vez, estos sistemas utilizan recursos a diferentes temperaturas:

A. *Recursos de temperatura alta:* situado principalmente en zonas volcánicas activas, su temperatura va de los 150 a 400°C, el vapor se extrae y se conduce a turbinas para generar electricidad. A pesar de generar en energía en grandes cantidades, este recurso es escaso.

B. *Recursos de temperatura media:* son aquellos donde los acuíferos están a temperaturas de 70 a 150°C, razón por la cual la transformación de energía geotérmica en energía eléctrica tiene un rendimiento menor. Son las pequeñas centrales geotérmicas las que explotan este recurso.

C. *Recursos de temperatura baja y muy baja:* Los primeros son aprovechados de manera más amplia, sus fluidos se encuentran a temperaturas de 60 a 80°C. Los segundos son conocidos como zonas termales y sus temperaturas van desde los 20 a 80°C, las aguas termales son un ejemplo.

Históricamente, el uso más antiguo que se le ha dado a la energía geotérmica es el de las aguas termales debido a sus propiedades curativas por sus altos contenidos de sales minerales que benefician a la salud; griegos, romanos y babilónicos dejaron registros de su uso. En la actualidad, las aguas termales siguen teniendo el mismo uso, además de incentivar el turismo en las zonas donde se encuentran.

Pero evidentemente, el producto final más valioso y potencialmente obtenible es la electricidad, mucho más que el agua caliente. Así que la mayor parte de la atención se centra en los recursos capaces de generar energía eléctrica, es decir, tratar de conseguir el suficiente calor que sea capaz de generar finalmente electricidad de forma barata.

En el año 2000, se alcanzó en el mundo una capacidad de producción de energía geotérmica de 8 GW, una pequeña pero significativa contribución en ciertas áreas (Gil, Gregorio. 2008). En la actualidad, los principales productores de energía geotérmica son los siguientes:

Cuadro 2.5

| Capacidad de Energía Geotérmica en el Mundo - 2014 (MW al año) | | | |
|---|-----------------------|----------------------------|------------------------------|
| Lugar | País | Nombre del Complejo | Producción Total (MW) |
| 1 | Estados Unidos | <i>Geysers</i> | 900 |
| 2 | Italia | <i>Larderello</i> | 769 |
| 3 | México | <i>Cerro Prieto</i> | 720 |
| 4 | Filipinas | <i>Makban</i> | 458 |
| 5 | Estados Unidos | <i>Salton Sea</i> | 340 |
| 6 | Islandia* | <i>Hellisheidi</i> | 303 |
| 7 | Filipinas | <i>Tiwi</i> | 289 |
| 8 | Filipinas | <i>Malitbog</i> | 232.5 |
| 9 | Indonesia | <i>Wayang Windu</i> | 227 |
| 10 | Indonesia | <i>Darajat</i> | 259 |

Fuente: Elaboración propia con datos de fierasdeingenieria.com

*Esta planta proporciona también 404 MW de energía térmica.

Es muy importante tener en cuenta que la explotación de un yacimiento geotérmico debe efectuarse de manera tal que el volumen de agua caliente o vapor que de él se extrae no sea mayor que la recarga natural de agua que alimenta al acuífero. Solo bajo estas condiciones el recurso energético puede ser considerado de carácter renovable (Vega, Juan C. y Ramírez, Santiago. 2014).

Además, la economía de los recursos geotérmicos de bajo grado (los más comunes mundialmente), es mucho más marginal y depende de las condiciones económicas y políticas locales, tales como la disponibilidad y precio de los combustibles fósiles. El deseo de los gobiernos para invertir en nuevos conceptos energéticos, el grado de educación y conciencia ambiental y los incentivos y ayudas para la promoción de energías limpias (Gregorio, Gil. 2008).

Económicamente, los costos generados por la producción y distribución de energía geotérmica a electricidad están dados principalmente por la tecnología existente, sin embargo, esto no necesariamente predice los precios de la misma pues existen otros factores que definirán su costo, como se mencionó anteriormente. En el Cuadro 2.6 se mencionan las ventajas y desventajas de este tipo de energía.

Cuadro 2.6

| Energía Geotérmica | |
|--|---|
| Ventajas | Desventajas |
| Tiene aplicaciones naturales para actividades de recreación. | Los yacimientos geotérmicos no son fáciles de encontrar. Se necesitan de una serie de estudios y exploraciones para localizarlos y no siempre se tiene éxito. |
| La capacidad instalada de una planta geotérmica requiere poco terreno para producir 100 MW y no se requiere más de una hectárea. | Muchos yacimientos se encuentran a grandes profundidades por lo que no es rentable su exploración |
| Plantea menos peligros que una planta de petróleo o gas natural. | En algunas ocasiones, el agua de estos acuíferos contiene agentes corrosivos o contaminantes, además de liberar gases (todos con compuesto de de azufre |
| Su construcción es molesta en sus inicios pero al iniciar sus funciones, suelen pasar inadvertidas. | Contaminación por ruido durante la construcción de la planta, además de presentar un problema con el tratamiento de residuos |
| Es una fuente de energía limpia, eficiente y de bajo costo. Tiene bajas emisiones de GEI con excepción del CO ² . | Reducción en la presión de almacenamiento del acuífero o reservorio. Además de provocar sismicidad en el terreno con la perforación. |

Fuente: Elaboración propia.

2.8 Energía Hidráulica

Cuando se habla de energías renovables para la producción de electricidad, usualmente se piensa en energía solar, eólica, biomasa, etc., sin recordar que la energía hidráulica es pionera en este tema, pues se ha empleado desde hace mucho tiempo y con tecnologías bastante consolidadas.

Como la mayoría de las energías renovables, la energía hidráulica no es sino energía solar indirecta y ha realizado a lo largo de la historia de la humanidad una gran contribución para el desarrollo energético. La energía hidráulica o hidroeléctrica tiene una tecnología bien establecida, que hasta 2009 proporcionaba cerca de la sexta parte de la electricidad mundial de manera fiable, segura y a precios competitivos, suponiendo más del 90 % de electricidad suministrada por las energías renovables.

El agua que, dentro del ciclo hidrológico, fluye por los ríos al descender de un nivel superior a un nivel inferior genera una energía cinética que el hombre lleva siglos aprovechando, hace más de cien años, esa energía que hasta entonces se usaba para la molienda de cereales, comenzó a utilizarse para generar electricidad. De hecho, fue a mediados del siglo XIX la principal fuente de energía eléctrica a gran escala (Elías, Javier y Bordas, Santiago. 2011). Ahora bien, ¿cómo se obtiene la energía hidroeléctrica? A continuación se explicará.

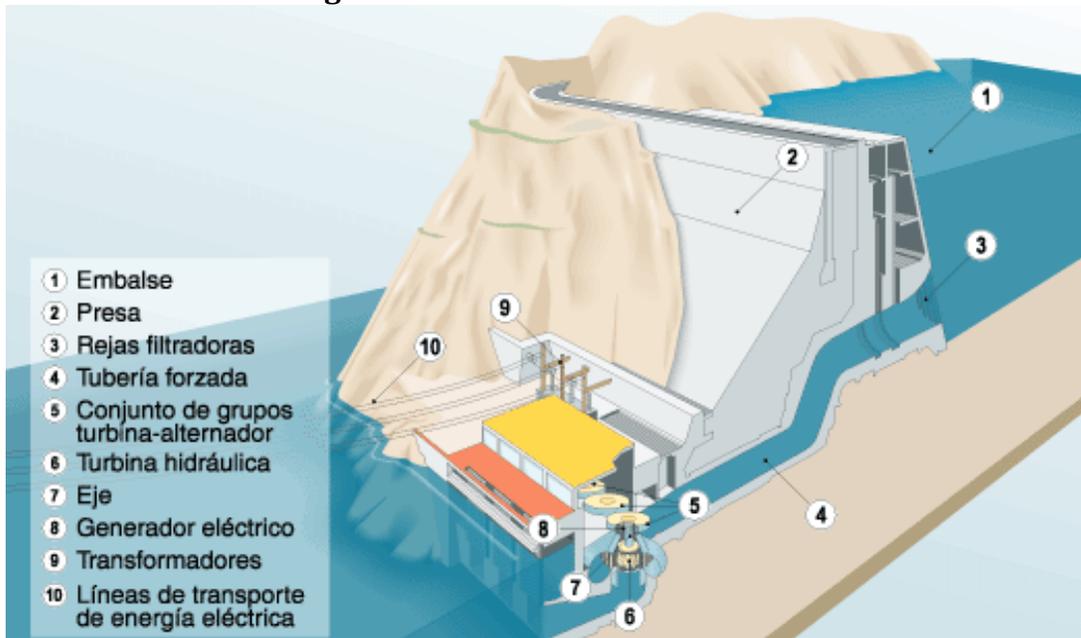
Cuando llueve, el agua es absorbida en parte por el suelo, mientras que el resto fluye desde las montañas, colinas y partes altas, y en su descenso forman torrentes y ríos que desembocan en lagos y en los océanos. Si esta agua de lluvia se retiene en embalses o se desvía por canales de derivación, se dispone de una energía potencial que se puede convertir en energía cinética por la caída del agua desde cierta altura a un nivel inferior, lo que permite generar energía eléctrica mediante turbinas y generadores. Esta es pues la energía hidráulica y las centrales donde se convierte a la electricidad se llaman centrales hidráulicas (Creus, Antonio. 2014).

Las centrales hidroeléctricas funcionan convirtiendo la energía cinética y potencial de una masa de agua al pasar por un salto en energía eléctrica. El agua hace rodar una turbina cuyo movimiento de rotación es transferido mediante un eje a un generador de electricidad (Elías, Javier y Bordas, Santiago. 2011). Las partes de una central hidroeléctrica son (Madrid, Antonio. 2009):

1. **Embalse:** Agua retenida en el curso de un río.
2. **Presa:** Estructura que se construye para contener el agua del embalse.
3. **Rejillas de filtrado:** Se colocan para detener material sólido que arrastra el agua.

4. **Tubería forzada:** El agua que baja por esta tubería aumenta su velocidad y presión rápidamente, convirtiendo a la energía potencial en energía cinética.
5. **Conjunto de grupos de turbina – alternador.**
6. **Turbina hidráulica:** El agua que bajo por la tubería anterior, a alta velocidad y presión, llega hasta esta turbina, transformando a la energía cinética en movimiento de rotación.
7. **Eje:** Entra en rotación gracias a la turbina anterior.
8. **Generador eléctrico:** transforma el movimiento de rotación del eje anterior en electricidad de media tensión y alta intensidad.
9. **Transformadores:** Son los encargados de elevar la tensión de electricidad producida para facilitar su transporte.
10. **Líneas de transporte de la electricidad:** Producida hasta la red general.

Figura 2.6 - Central Hidroeléctrica



Fuente: www.ecovive.com

Lo anterior, fue la explicación de una central hidroeléctrica común, y apeándose a esta estructura de la central propiamente dicha, se debe explicar que existen distintos tipos

de centrales, dado que las características orográficas del lugar donde se construye la central, condicionan su estructura. Las centrales hidroeléctricas se pueden clasificar en tres tipos³⁹:

1. **Minicentrales Hidroeléctricas:** Tienen una producción eléctrica menor o igual a 30 MW y no sobrepasan los 15 m de altura. No necesitan grandes embalses por lo que tienen menor impacto ambiental, pueden ayudar al crecimiento de pequeñas comunidades alejadas o marginadas de las redes eléctricas, a una escala compatible con el entorno, y tienen la ventaja de respetar el cauce sin producir efectos negativos en la cuenca del río.
2. **Centrales eléctricas de gran potencia:** Tienen una producción eléctrica mayor a 30 MW. Necesitan grandes embalses para producir cantidades fuertes de electricidad. Tienen mayor impacto ambiental pero su funcionamiento es más constante y tienen mucha mejor respuesta en momentos de mayor demanda.

Mundialmente, la energía hidroeléctrica es la forma de energía renovable más utilizada y representa la quinta parte de la electricidad mundial, actualmente su capacidad instalada supera los 1.000 GW y la producción en 2014 alcanzó los 1.43 TWh, que supone el 14 % de la producción mundial de electricidad según datos de la Agencia Internacional de la Energía (AIE).

Asimismo, ha ayudado a impulsar el crecimiento económico en muchos países, como Brasil, Canadá, China, Estados Unidos y Noruega. A medida que crece la demanda de energía limpia, confiable y asequible, y en vista de la urgente necesidad de ampliar el acceso a la electricidad para incluir a los sectores desatendidos, la energía hidroeléctrica cobra mayor importancia. En la actualidad, China es el mayor productor mundial de energía hidroeléctrica, seguido de Brasil, Estados Unidos, Rusia y Canadá (que aun sin entrar en los

³⁹ Las definiciones de las minicentrales eléctricas y las centrales eléctricas reversibles fueron obtenidas de: Elías, Javier y Bordas, Santiago. *Energía, agua, medioambiente, territorialidad y sostenibilidad*. 2011. Mientras que la definición de las centrales eléctricas de gran potencia, se obtuvo de: Madrid, Antonio. *Energías Renovables – Fundamentos, tecnologías y aplicaciones*. 2009.

primeros diez lugares, tiene centrales hidroeléctricas de suma importancia), países que cuentan con las principales centrales hidroeléctricas del mundo.

Cuadro 2.7
Centrales Hidroeléctricas más Grandes del Mundo
Capacidad Instalada (MW) - 2014

| Lugar | País | Nombre del Complejo | Capacidad Instalada (MW) |
|-------|-----------------|----------------------------|--------------------------|
| 1 | China | <i>Tres Gargantas</i> | 22,500 |
| 2 | Brasil-Paraguay | <i>Itaipú</i> | 14,000 |
| 3 | China | <i>Xiluodu</i> | 13,860 |
| 4 | Venezuela | <i>Guri</i> | 10,235 |
| 5 | Brasil | <i>Tucuruí</i> | 8,370 |
| 6 | EU | <i>Grand Coulee</i> | 6,809 |
| 7 | China | <i>Xiangjiaba</i> | 6,448 |
| 8 | China | <i>Longtan</i> | 6,426 |
| 9 | Rusia | <i>Sayano-Shushenskaya</i> | 6,400 |
| 10 | Rusia | <i>Krasnoyarsk</i> | 6,000 |

Fuente: Elaboración propia con datos de la AIE.

En términos económicos, la construcción de una central hidroeléctrica se debe considerar un punto muy importante que es el costo del KWh de salida, es decir, el precio final, porque sin importar qué tan innovadora pueda ser una central de este tipo si con ella solo se consigue perder dinero, ningún inversor se arriesgará a invertir en ella, pues el factor dominante en el costo de salida es el costo de la inversión inicial que se refleja en la construcción de la central, es decir, la infraestructura.

Un gran punto a favor, es que la tecnología usada es de larga duración, la maquinaria tiene una duración de entre 25 y 50 años, mientras que la infraestructura externa va de los 50 a 100 años.

Otro punto importante a considerar y de acuerdo con el Banco Mundial, además del acceso restringido al servicio eléctrico, para 2025 habrá 2400 millones de personas sin agua suficiente para satisfacer todas sus necesidades. La seguridad hídrica se ve amenazada por la creciente demanda de agua, el mal manejo de los recursos hídricos disponibles y el aumento de las alteraciones en los patrones meteorológicos a causa del cambio climático.

Recordemos que un recurso es renovable siempre y cuando este no sea sobreexplotado con respecto a su capacidad de regeneración. Las oportunidades son enormes pero el desarrollo de la energía hidroeléctrica también conlleva riesgos y desafíos complejos. Estos riesgos varían significativamente según el tipo, el emplazamiento y la escala de los proyectos, como se presentan en el Cuadro 2.8.

Cuadro 2.8

| Energía Hidráulica | |
|---|---|
| Ventajas | Desventajas |
| Ayudan a controlar y regular el caudal de los ríos, evitando inundaciones. | Pueden afectar zonas de interés ecológico y humano. |
| Además de ser una fuente limpia de generación de electricidad, son suministros de agua potable. | Su construcción puede provocar desplazamiento de la población y destrucción de ecosistemas. |
| Producen electricidad barata con tecnologías muy probadas. | Disminuyen el caudal de los ríos y arroyos. |
| Funcionan con eficiencia a los picos de demanda de electricidad. | Se necesitan importantes obras de infraestructura en el caso de las grandes. |
| Las centrales tienen una vida útil bastante larga. | Es una fuente renovable de energía mientras se tenga agua. |

Fuente: Elaboración propia con datos de Madrid, Antonio (2009).

2.9 Energía Oceánica (Marina)

El término océano se utiliza para designar a la parte de la superficie de la Tierra que está cubierta de aguas marinas. Históricamente, el uso de los mares como fuente de energía data a los molinos de marea. Los primeros molinos de marea aparecieron en Francia e Inglaterra durante el siglo XI y fueron usados principalmente para moler granos de trigo y obtener harina; sin embargo, este tipo de energía fue abandonada por completo a finales del siglo XIX, aun con el total abandono, la energía oceánica ha sido el sueño de muchos científicos e inventores por lo que se volverían a realizar investigaciones sobre el aprovechamiento de

este tipo de energía para la generación de electricidad durante el pasado siglo XX, y desde entonces se sigue buscando su desarrollo (Creus, Antonio. 2014).

La profundidad promedio de los mares es de 3.8 km y cubren cerca de tres cuartas partes de la superficie del planeta Tierra, además de ser un gran almacén de energía en movimiento permanente, puesto que en la superficie los vientos provocan olas que pueden alcanzar hasta 12 m de altura, 20 m por debajo de la superficie, los cambios de temperatura (que varían de $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$) generan a las corrientes marinas, asimismo, tanto en la superficie como en el fondo, la atracción solar y lunar influyen en la generación de mareas [...], el promedio de la energía absorbida por los océanos y mares, para una media de 190 W/m^2 se evalúan en $65 \times 10^6\text{ GW}$, lo que podría equivaler, según la eficiencia de la conversión energética a $150 \times 10^6\text{ TWh/año}$ (Elías, Javier y Bordas, Santiago. 2011).

Existen distintas formas de energía oceánica o marina que son aprovechables para producir energía eléctrica, las más comunes son:

2.9.1 Energía mareomotriz

La energía mareomotriz es la que resulta de aprovechar las mareas, es decir, la diferencia de altura de los mares según la posición relativa de la Tierra y la Luna, y que resulta de la atracción gravitatoria de esta última y del Sol sobre las masas de agua de los mares. Esta diferencia de alturas puede aprovecharse interponiendo partes móviles al movimiento natural de ascenso y descenso de las masas de las aguas, junto con mecanismos de canalización y depósito, para obtener movimiento en un eje. Mediante su acoplamiento a un alternador se logra utilizar un sistema para la generación de electricidad, transformando así la energía mareomotriz en energía eléctrica (Elías, Javier y Bordas, Santiago. 2011).

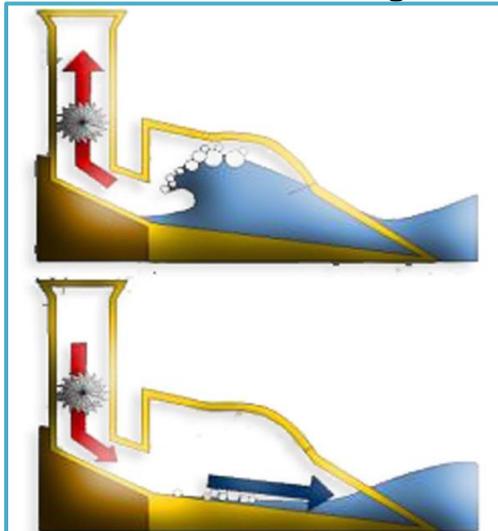
2.9.2 Energía oleomotriz

Las olas son un producto de la energía solar, ya que el sol calienta la superficie terrestre generando zonas de diferente presión que producen los vientos, de los que las olas recogen y almacenan energía. El 0.3 % de la energía solar se transforma en energía de olas, que

tienen la capacidad de desplazarse a grandes distancias con un mínimo de pérdida de energía (Creus, Antonio. 2014).

Como ya se mencionó, las olas son producidas por el viento y su energía cinética (oleomotriz) se transforma en electricidad, utilizando diversos dispositivos de conversión como el convertidor noruego Kvaerner, que debe ser situado en una costa escarpada y consiste en un cilindro hueco de hormigón de varios metros de alto, en cuya boca inferior las olas ejercen presión sobre el aire contenido en el mismo y lo impulsan hacia la boca superior, donde mueve una turbina. Otras plantas, situadas en el mar, emplean turbinas verticales con potencias de hasta 2 MW. Las olas suponen un potencial mundial de alrededor de 2 TW^{40} de potencia, es decir, 17 280 TWh/año.

Figura 2.7 - Convertidor Noruego Kvaerner



Fuente: Google Imágenes

A pesar de eso, existe cierta desconfianza en la tecnología usada para el aprovechamiento de las olas, debido al fracaso de algunos dispositivos. Asimismo, mucha tecnología aún está en desarrollo y es sumamente costosa por lo que ni los sectores público o privado toman el riesgo de invertir en ellas.

⁴⁰ 2000 GW = 2 000 000 MW.

2.9.3 Energía termomotriz

Otra forma de aprovechar la energía de los océanos es mediante la energía térmica de las aguas marinas. Lo anterior, gracias a los niveles de profundidad de los océanos, a mayor profundidad, las aguas serán más frías, a menor profundidad, serán más cálidas.

- **Superficial:** de los 100 a 200 m, actúa como colector de calor con temperaturas de 25 a 30 °C.
- **Intermedia:** de 200 a 400 m, presenta una variación rápida de temperatura y actúa como barrera térmica entre la superficie y las zonas profundas.
- **Profunda:** la temperatura disminuye gradualmente hasta alcanzar los 4 °C a 1000 m y 2 °C a 5000 m.

Por lo tanto, a una profundidad de 1000 m, esa diferencia puede llegar a 20 °C, lo que puede utilizarse para generar electricidad al evaporar y condensar, en forma alternada, un flujo intermedio de trabajo. El vapor producido mediante este proceso mueve una turbina acoplada a un generador de electricidad (Elías, Javier y Bordas, Santiago. 2011).

La utilización de diferencia de temperaturas del océano fue sugerida por primera vez por el físico francés Arsène d'Arsonval en 1881. Pero fue hasta 1926 que el ingeniero francés Georges Claude que presentó un mecanismo para el aprovechamiento de este tipo de energía ante la Academia de Ciencias de Paris.

El mecanismo funcionaba así: el agua superficial se introducía continuamente en un estanque cerrado en el que se había practicado un vacío suficiente para llevar el agua a la ebullición; el vapor producido condensaba cuando entraba en contacto con la pared enfriada por el agua profunda, aspirada mediante una conducción. La corriente de vapor movía constantemente una turbina conectada a un generador, produciendo energía eléctrica (Creus, Antonio. 2014).

El desarrollo tecnológico de instalación de estos mecanismos en zonas profundas, el uso de materiales compuestos y nuevas técnicas de unión, harían posible el diseño y construcción de una central termomotriz, sin embargo, el mayor inconveniente es el económico. Económicamente y en general, el costo de operación de un sistema de energía

oceánica – cualquiera que este sea - es bajo, ya que el fluido del agua es gratuito; sin embargo, el costo de su construcción es sumamente costoso y como resultado, el costo del KWh no es competitivo.

El aprovechamiento de este tipo de energía depende esencialmente del mercado energético de los hidrocarburos y del constante impacto hacia el medio ambiente. Mundialmente, estos son los países líderes en la producción de energía mareomotriz:

Cuadro 2.9

| Energía Oceánica en el Mundo - 2011 (MW al año) | | | |
|--|-----------------------|----------------------------|------------------------------|
| Lugar | País | Nombre del Complejo | Producción Total (MW) |
| 1 | Corea del Sur | <i>Sihwa Lake</i> | 254 |
| 2 | Francia | <i>La Rance</i> | 240 |
| 3 | Inglaterra | <i>Tidal Lagoon</i> | 240 |
| 4 | Filipinas | <i>Makban</i> | 458 |
| 5 | Estados Unidos | <i>Salton Sea</i> | 340 |
| 6 | Islandia* | <i>Hellisheidi</i> | 303 |
| 7 | Filipinas | <i>Tiwi</i> | 289 |
| 8 | Filipinas | <i>Malitbog</i> | 232.5 |
| 9 | Indonesia | <i>Wayang Windu</i> | 227 |
| 10 | Indonesia | <i>Darajat</i> | 259 |

Fuente: Elaboración propia con datos de www.fierasdelaenergia.com

Económicamente, reducir los costos de mantenimiento y funcionamiento es la clave de la implementación con éxito de las estaciones de energía oceánica. Los costos de capital por KW de establecimiento de una estación de este tipo es probablemente el doble al menos que el de una central convencional que queme combustible fósil, el factor de carga es probablemente mucho más bajo que el convencional debido a la variabilidad de las olas, por tanto, estas instalaciones solo pueden ser competitivas si sobreviven a las incidencias del tiempo durante mucho tiempo (durabilidad).

Asimismo, la inversión total en capital requerida para los esquemas energéticos de oleaje, depende de las eficiencias medias generales y de su localización. Algunos de los

dispositivos detallados, tienen una eficiencia de tan solo 30 %. En el cuadro 2.10 se observan las ventajas y desventajas de la energía oceánica.

Cuadro 2.10

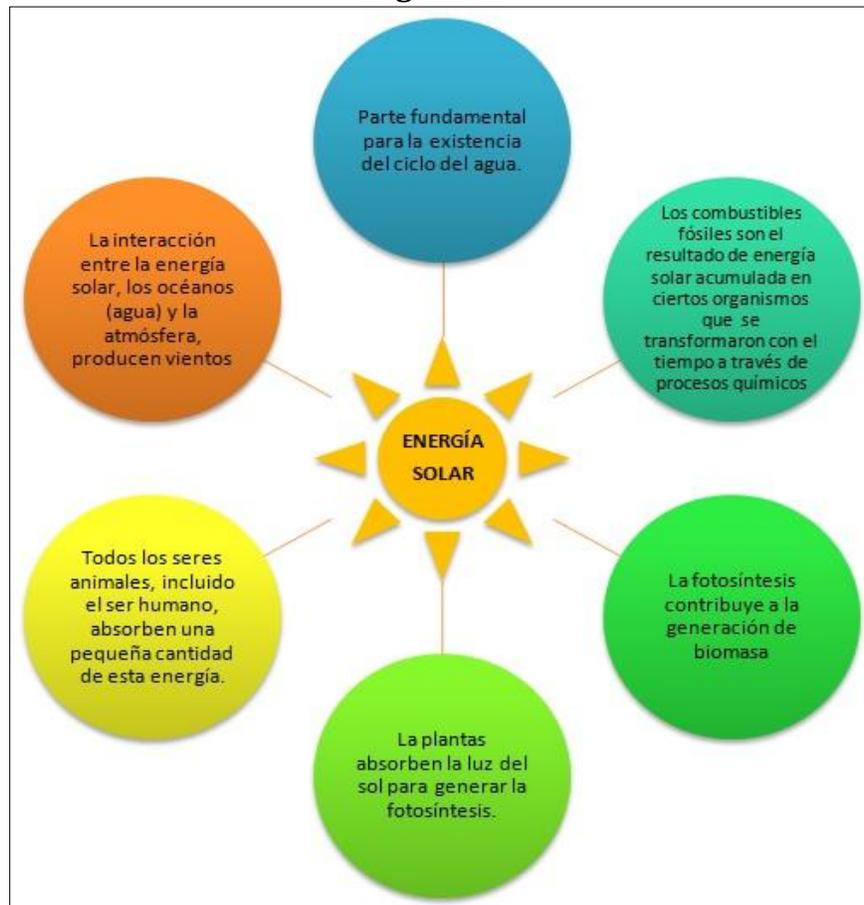
| Energía Oceánica | |
|---|---|
| Ventajas | Desventajas |
| El costo de mantenimiento de una central mareomotriz es bajo y su vida útil es prácticamente ilimitada. | Necesidad de una fuerte inversión inicial. El tiempo de construcción de una central mareomotriz es excesivamente largo. |
| Funciona en cualquier clima y época del año. | Provoca cambios en los ecosistemas cercanos. |
| No contamina y es silencioso. | Si la central es grande, tendrá un alto impacto visual. |
| No presenta problemas de desabasto de agua, por lo que la energía oleomotriz es constante. | Cambios hidrodinámicos (salinidad, calidad del agua, movimiento, etc.) |
| Proporciona protección contra inundaciones gracias a la infraestructura de la central mareomotriz. | La infraestructura oleomotriz requiere constante mantenimiento. |
| La energía cinética de las olas es 1000 veces mayor la del viento por lo que se puede hacer uso de dispositivos más pequeños. | La sal marina y otros sedimentos deterioran los materiales de la infraestructura. |
| Este tipo de energía potenciaría a la industria naval y por tanto al empleo. | A diferencia de las mareas, la energía de las olas sigue la variabilidad estacional. |

Fuente: Elaboración propia.

2.10 Energía Solar

Como es notorio, la energía solar proviene del sol donde se producen reacciones de fusión de los átomos de hidrógeno dando lugar a un átomo de helio y liberando gran cantidad de energía, de la cual solo llega a la Tierra una pequeña parte, pues el resto se refleja hacia el espacio exterior por la presencia de la atmósfera terrestre [...] esta energía es del orden de 173,000 TW, lo que equivale a 4,500 veces la energía que el hombre consume. Se trata de una energía renovable, fiable, limpia, pero diluida, no concentrada, que precisa de una captación con superficies de muchos metros cuadrados y durante muchas horas de exposición (Creus, Antonio. 2014).

Figura 2.8



Fuente: Elaboración propia.

La energía solar puede ser directa o indirecta y debe convertirse a otra forma de energía para que sea realmente útil. Existen tres tipos de energía solar:

2.10.1 Energía solar indirecta

No se sabe con exactitud cuándo aprendió el ser humano a usar la energía solar. Probablemente los egipcios fueron los primeros en usarla, y ciertamente existe información documentada de su uso por los griegos, romanos y chinos. Pero, ¿cuál es su importancia? La respuesta es sencilla: es la base de la vida en la biósfera (Figura 2.1).

2.10.2 Energía solar directa

Para aprovechar la energía solar directa en gran escala, se requiere de sistemas de captación sobre ciertas superficies expuestas a la luz del sol. Además, no puede ser almacenada directamente sino que necesita ser transformada en otro tipo de energía, es decir, es el uso de la energía solar para generar energía térmica o fotovoltaica.

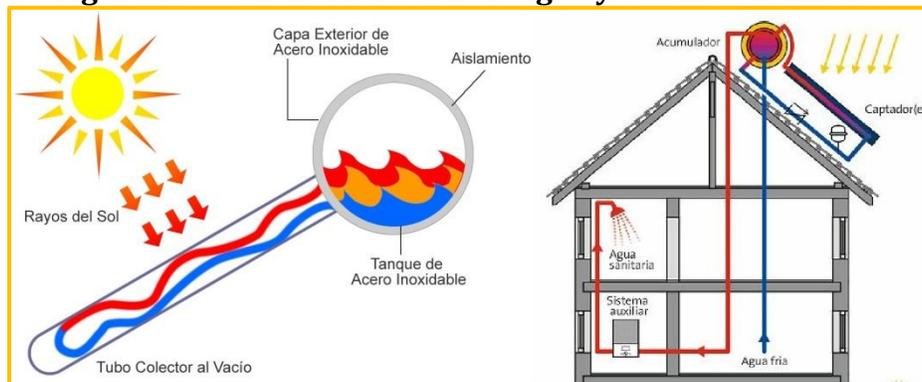
2.10.3 Energía solar térmica

La energía solar térmica es una de los tres tipos de energía solar y a su vez, de esta se originan dos tipos de energía solar térmica que son:

- **Energía solar térmica de baja temperatura**

Su uso más frecuente es para el calentamiento de agua para uso doméstico debido a que mantiene una temperatura por debajo de su punto de ebullición, además, presenta un rendimiento idóneo y un mantenimiento sencillo. El sistema de captación de esta tecnología está constituido por los llamados paneles solares térmicos, también conocidos como calentadores solares de agua.

Figura 2.9 - Calentador solar de agua y su funcionamiento



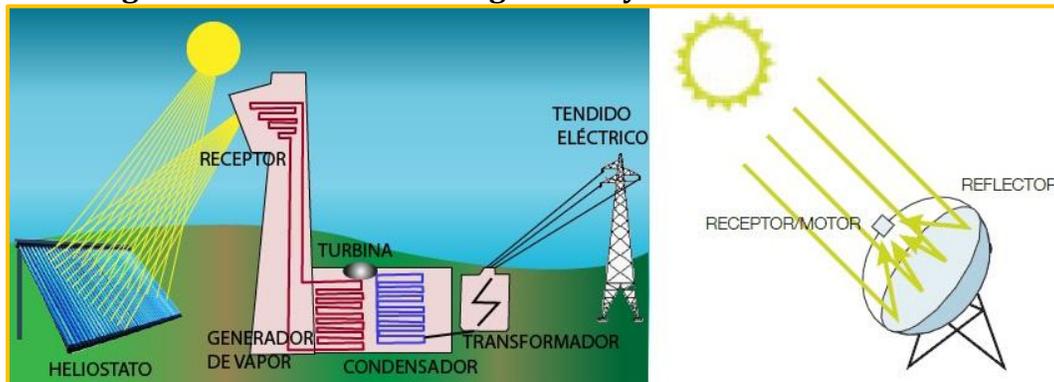
Fuente: Google Imágenes

- **Energía solar térmica de alta temperatura**

Se destina principalmente para la generación de energía eléctrica. Estos sistemas de energía solar térmica van desde los 250 a los 2000 °C y se instalan principalmente en zonas con

altos niveles de radiación solar. Utilizan reflectores (heliostatos) para enfocar la radiación solar sobre fluidos que transmiten el calor a calderas de vapor que mueven turbinas. Existen dos tipos de sistemas que captan la radiación solar: torres de energía solar y discos parabólicos.

Figura 2.10 - Torre de Energía Solar y Disco Parabólico Solar



Fuente: Google Imágenes.

2.10.4 Energía solar fotovoltaica

Este tipo de energía permite convertir directamente la energía solar en energía eléctrica mediante el efecto fotovoltaico que consiste en generar una tensión eléctrica para producir una corriente eléctrica (Vega, Juan Carlos y Ramírez, Santiago. 2014).

El efecto de esta energía se produce cuando la radiación solar incide sobre un cristal de silicio que actúa como material semiconductor con dos regiones (+ y -); el positivo contiene boro y el negativo electrones adicionales que generan una corriente continua. Otras características comunes están: a la celda fotovoltaica se le designa PV⁴¹, suele tener un tamaño de 10x10 cm y un grosor de 0.25 a 0.35 mm, con una forma generalmente cuadrada y no tiene partes móviles.

Algo importante sobre la tecnología solar fotovoltaica es que para la fabricación de celdas, el silicio tiene un proceso de fabricación sumamente costoso pues se requiere de una

⁴¹ El término PV se deriva de las palabras *photo* (luz) y *voltaiics* (voltaje eléctrico).

alta pureza de este material. Es por ello que para reducir los costos de estos cristales, se usan grados de pureza mucho menores.

Figura 2.11 - Panel Solar con Celdas fotovoltaicas



Fuente: Google Imágenes

El sol es una fuente inagotable de recursos para el hombre. Provee una energía limpia, abundante y disponible en la mayor parte de la superficie terrestre y puede por lo tanto liberarlo de los problemas ambientales generados por los combustibles convencionales, como el petróleo, y de otras alternativas energéticas (Fernández, José Ma. 2009).

Por estas razones y porque la cantidad de energía solar que llega a la Tierra es vasta y mucho mayor que los consumos energéticos de la sociedad humana, pues al concentrar la energía solar, se puede aplicar para la producción de electricidad y calor; el aprovechamiento de esta fuente de energía es una de las soluciones a largo plazo para el suministro sustentable de energía. Y mundialmente, es una de las energías con mayor capacidad instalada para su aprovechamiento, si se habla de las plantas de energía solar alrededor del mundo, tenemos lo siguiente:

Cuadro 2.11

| Plantas de Energía Solar Fotovoltaica más Grandes del Mundo 2015 | | | |
|---|--------------|--|---------------------------------|
| Lugar | País | Nombre del Complejo | Capacidad Instalada (MW) |
| 1 | EU | <i>Solar Star Farm I y II</i> | 579 |
| 2 | EU | <i>Desert Sunlight Solar Farm</i> | 550 |
| 3 | EU | <i>Topaz Solar Farm</i> | 550 |
| 4 | EU | <i>Copper Mountain</i> | 458 |
| 5 | China | <i>Longyangxia Hydro -Solar PV Station</i> | 320 |
| 6 | EU | <i>Agua Caliente Solar Project</i> | 290 |
| 7 | EU | <i>Antelope Valley Solar Ranch</i> | 266 |
| 8 | EU | <i>California Valley Solar Ranch</i> | 250 |
| 9 | India | <i>Charanka Solar Park</i> | 214 |
| 10 | EU | <i>Mount Signal Solar</i> | 206 |

Fuente: Elaboración propia con datos de elperiodicodelaenergia.com y fierasdeingenieria.com

Como se puede apreciar en el Cuadro 2.11, un liderazgo que ya desde hace tiempo ha quedado reflejado en los rankings, pero sobre todo, en el de las mayores plantas fotovoltaicas del mundo es el de Estados Unidos y, particularmente, el estado de California pues desde hace tiempo que capitanea este ranking. Tan solo entre las 10 mayores plantas fotovoltaicas del mundo, Estados Unidos cuenta en la actualidad con ocho representantes. Geográficamente, los mercados más grandes en un futuro próximo para este tipo de energía serán China, Japón y Estados Unidos, mientras que los mayores contribuyentes en términos de crecimiento absoluto serán China, Estados Unidos e India.

Económicamente, el costo por KWh de energía procedente de las celdas, consta esencialmente de una combinación de costos de capital. Los costos de capital de la energía incluyen no solo el costo de las células y/o paneles fotovoltaicos, sino también los costos de balance del sistema, es decir, la infraestructura e inversión totales (terreno, materiales de construcción, tecnología, etc.).

Cuadro 2.12

| Energía Solar | |
|---|---|
| Ventajas | Desventajas |
| Es un recurso renovable y por tanto puede contribuir a la disminución del consumo de combustibles fósiles. | Su impacto visual es grande y es necesario reducirlo |
| No produce ruido, humo ni residuos difíciles de tratar o eliminar. | Las instalaciones solares fotovoltaicas autónomas que disponen de baterías de acumulación precisan de un buen mantenimiento, no solo para que estén en buen estado sino también para gestionar, recoger y tratar dichas baterías al final de su vida útil debido sus componentes contaminantes. |
| No exige medidas de seguridad sofisticadas. | |
| No genera GEI, por lo que contribuye con los acuerdos del Protocolo de Kioto. | La energía solar es intermitente, por lo que no hay captación de energía durante la noche, o cuando hay nubes, lluvia, nieve, polvo o niebla, por lo cual no se puede hacer uso de ella. |
| Los centros de energía pueden estar próximos a los de consumo y por lo tanto, se puede eliminar la infraestructura eléctrica (altas cantidades de postes y cables). | |
| Los gastos en la compra e instalación de paneles solares para una vivienda o edificio significan un considerable ahorro en energía a largo plazo. | |

Fuente: Elaboración propia.

2.11 Energía Nuclear

La energía nuclear se genera a partir de la radioactividad, saber cómo se genera es necesario ¿pero cuál es el proceso para su obtención? Es momento de responder.

El lugar donde se genera este tipo de energía se le llama central nuclear. Una central nuclear es una instalación industrial que produce energía eléctrica a partir de la fisión del uranio. ¿Cómo se consigue energía del uranio? El mineral de uranio debidamente acondicionado, es el combustible que se utiliza en las centrales nucleares. Mediante reacciones nucleares con neutrones se rompen los núcleos de los átomos de uranio. En esta fisión se libera gran cantidad de calor, que se aprovecha para producir vapor de agua; este vapor hace girar una turbina que a su vez mueve un alternador donde se produce la electricidad (Foro Nuclear, YouTube. 2010).

¿Y cómo es que el uranio es un combustible? Sencillo. Se entiende por combustible nuclear al material capaz de experimentar una fisión⁴² del núcleo atómico con la liberación de energía. Existen tres núcleos susceptibles de ser utilizados como combustible: uranio – 235, uranio – 233 y plutonio – 239⁴³.

Asimismo, al hablar de combustibles nucleares, se debe tener en cuenta a los recursos disponibles de los mismos. Si se mira a futuro, de acuerdo con el Foro Nuclear, las reservas identificadas de uranio se han incrementado en un 12.5 % desde 2008. Con datos a enero de 2011, las reservas conocidas son suficientes para suministrar uranio a todas las centrales nucleares del mundo más allá de 100 años. Como se sabe, el uranio es un elemento natural que se extrae de la tierra, por lo que establece a la energía nuclear como una alternativa energética dependiente de la naturaleza, y por tanto, no es sustentable porque el uranio no es un recurso ilimitado como el sol o el viento, lo que plantea un límite a su utilización.

2.11.1 La controversia de la energía nuclear

La energía nuclear es sin duda el tipo de energía más controversial que hay principalmente por los daños que puede ocasionar al no ser correctamente manejada y/o supervisada, la historia de la humanidad lo avala.

La energía nuclear para la producción de electricidad comenzó a utilizarse en la antigua Unión Soviética, después de diversos ensayos, el 27 de junio de 1954, con la conexión a la red eléctrica del reactor de Oboninski. Desde entonces, la producción de energía electronuclear iría en aumento hasta finales de la década de 1980⁴⁴. En la segunda mitad de la década de los sesenta, Estados Unidos lanzó el primer programa nuclear destinado a la generación de electricidad. Aunque cuatro años antes, el Reino Unido inauguró Calder Hall, la primera central nuclear del mundo. Poco después, otros países

⁴² Fisión: Rotura del núcleo de un átomo, con liberación de energía, tal como se produce mediante el bombardeo de dicho núcleo con neutrones. Fuente: www.rae.es

⁴³ Enciclopedia Temática Ilustrada: *Vol. 6 - Física y Química*. 2003. Pág. 38.

⁴⁴ Enciclopedia Temática Ilustrada: *Vol. 12 – Ecología y Medio Ambiente*. 2003. Pág. 56

industrializados siguieron el ejemplo llevando a cabo sus propios programas nucleares. La estabilidad económica, el fuerte crecimiento de la demanda eléctrica y sus prometedoras expectativas económicas fueron el motor del desarrollo de esta fuente energética⁴⁵.

Pero, si la energía nuclear es tan viable ¿por qué dejó de ser tan popular? La respuesta es la siguiente: En la madrugada del viernes 26 de abril de 1986, el reactor número 4 de la central de Chernobyl en Ucrania, entró en fusión descontrolada y explotó, liberando enormes cantidades de material contaminante (uranio y grafito). Esta gran nube de material radioactivo se desplazó rápidamente hacia numerosas zonas de Europa Central y Oriental. Los efectos de la explosión de esta central nuclear fueron extraordinariamente graves y se han dejado sentir durante décadas en forma de todo tipo de cánceres, leucemia y mutaciones genéticas.

En la actualidad, el 11 de marzo de 2011, el mundo estuvo bajo emergencia nuclear una vez más cuando después de que un terremoto en Japón provocara un tsunami que impactó su costa norte, lo cual provocó el colapso de su central nuclear en Fukushima. Aunque se dice que el desastre no tuvo la escala de Chernobyl y fue causado por un fenómeno natural totalmente imprevisible, puso en alerta al mundo entero y también tuvo enormes y graves consecuencias económicas, políticas y sociales para Japón. Dos meses después del desastre en Fukushima, Alemania decide detener su programa de energía nuclear y enfocar sus finanzas en la investigación de energías renovables, Suiza e Italia hicieron lo mismo y a su vez Japón comenzó a hacerlo también.

Otro problema grave de la energía nuclear y para el cual no se tiene ninguna solución adecuada, es la gestión de los residuos radioactivos, pues su carga de radiación no se puede eliminar; además, un problema colateral que esto trae es la contaminación térmica que provoca el funcionamiento de los reactores nucleares con el vertido en ríos o costas del agua que se utiliza para la refrigeración de las centrales.

⁴⁵Fuente: www.foronuclear.org

2.11.2 Importancia de la energía nuclear

A pesar de lo anterior, existen varias naciones que aún apuestan por la energía nuclear y es que no todo es negativo, tiene sus bondades.

A nivel mundial, en el año 2005 la energía nuclear suponía alrededor del 7 % de la energía primaria y el 16% de la generación de la electricidad y existían 443 reactores nucleares en funcionamiento. El punto más importante es que la energía nuclear puede generar electricidad a mitad del costo del carbón o a un cuarto del costo del gas natural y además sus emisiones de GEI son mínimas⁴⁶. Otra gran ventaja de las plantas nucleares es que pueden producir enormes cantidades de energía con un pequeño volumen de combustible.

Tan solo una tonelada de combustible nuclear produce la energía equivalente a lo que dos o tres millones de toneladas de combustibles fósiles producen, lo que redundaría en una utilización menor de recursos (Peña, Ma. Fernanda, 2009). A pesar de este hecho y aunque es considerada como un tipo de energía limpia, no es renovable. En la actualidad, los diez países con mayor generación de energía nuclear para la producción de electricidad son los siguientes:

Cuadro 2.13

| Energía Nuclear en el Mundo, 2015 | | | |
|--|---------------------------|----------------------------|---------------------------------------|
| Lugar | País | Número de Reactores | Capacidad Eléctrica Total (MW) |
| 1 | Estados Unidos | 99 | 98,639 |
| 2 | Francia | 58 | 63,130 |
| 3 | Japón | 43 | 40,290 |
| 4 | Rusia | 34 | 24,654 |
| 5 | China | 27 | 23,025 |
| 6 | República de Corea | 24 | 21,667 |
| 7 | India | 21 | 5,308 |
| 8 | Canadá | 19 | 13,500 |
| 9 | Inglaterra | 16 | 9,373 |
| 10 | Ucrania | 15 | 13,107 |

Fuente: Elaboración propia con datos de la AIEA - PRIS

⁴⁶ Fuente: <http://www.latam.discovery.com/noticias/10-paises-con-energia-nuclear-discovery/>

El mayor aprovechamiento que se le da a la energía nuclear es su transformación a energía eléctrica, en América Latina, solo tres países emplean la energía nuclear para generar electricidad, México, Brasil y Argentina; por su parte, Chile y Colombia cuentan con pequeños reactores pero con fines exclusivos para la investigación.

Cuadro 2.14

| Energía Nuclear en América Latina, 2015 | | | |
|--|------------------|----------------------------|---------------------------------------|
| Lugar | País | Número de Reactores | Capacidad Eléctrica Total (MW) |
| 1 | Argentina | 3 | 1,627 |
| 2 | Brasil | 2 | 1,884 |
| 3 | México | 2 | 1,330 |

Fuente: Elaboración propia con datos de la AIEA - PRIS

2.12 Energía del Hidrógeno: ¿La energía del futuro?

Hidrógeno. Es el elemento número uno de la tabla periódica, siendo un gas incoloro, insípido y altamente inflamable pero no es tóxico. Se quema en el aire formando una llama azul pálido casi invisible, es el más ligero de los gases conocidos en función a su bajo peso específico con relación al aire. Por esta razón, su mayor manipulación requiere de cuidados especiales para evitar accidentes, además de ser propenso a fugas, debido a su baja viscosidad y a su peso molecular.

Asimismo, el hidrógeno es el elemento más abundante en la naturaleza aunque es importante mencionar que se encuentra combinado con otros elementos de la naturaleza, razón por la cual no existen reservas naturales del mismo. Entre las materias portadoras de hidrógeno figuran los combustibles fósiles y la biomasa, lo que lo hace no tan accesible. Existen distintos procesos para la obtención del hidrógeno como son (Creus, Antonio. 2014):

- **Reformado del gas natural con vapor**

Este método se usa en el 48 % de la producción del hidrógeno a nivel mundial. Es uno de los métodos más efectivos para la obtención de hidrógeno y consiste en la conversión catalítica endotérmica de hidrocarburos ligeros (metano a gasolina) con vapor de agua a una temperatura de 850 °C.

- **Oxidación parcial de hidrocarburos**

Este método se usa en la producción del 30 % del hidrógeno a escala mundial, es la conversión exotérmica de hidrocarburos pesados (*fuel oil* residual del tratamiento del crudo de petróleo), utilizando oxígeno y vapor a temperaturas mayores.

- **Oxidación parcial del carbón**

El proceso es idéntico al de oxidación parcial de hidrocarburos pesados, con la diferencia de que el carbón se tritura a polvo fino y se mezcla con agua. Este método se usa en la producción del 18 % del hidrógeno a escala mundial.

- **Separación de carbón e hidrógeno de hidrocarburos**

Se realiza mediante un proceso de arco de plasma a temperaturas de 1600 °C, obteniendo carbón puro e hidrógeno sin producir emisiones significativas. Este proceso está en fase de desarrollo.

- **Procesos reformadores de pequeño tamaño y oxidación parcial**

Están estudiados para utilizarse en módulos de celdas de combustible de potencias de 10 a 250 KW en aplicaciones móviles y pequeños sistemas fijos. Se trata de un mercado de desarrollo, en el que la industria del automóvil está haciendo grandes esfuerzos para sustituir los motores de explosión de gasolina o diesel por motores eléctricos accionados por baterías de combustible de hidrógeno.

- **Energías renovables**

La biomasa constituye una fuente de hidrógeno al someterla a distintos procesos para su obtención como:

→ La gasificación y pirolisis de la biomasa.

- Proceso de fermentación de la biomasa.
- Apartando energía térmica.
- En la producción biológica de hidrógeno, se libera o aparece como un producto intermedio en la fotosíntesis o la fermentación.

- **Electrólisis**

Este método se usa en la producción de 4 % del hidrógeno a escala mundial. Este proceso consiste en la descomposición del agua utilizando la electricidad. La electrólisis convencional del agua se usa comercialmente desde hace 90 años, en los años 80 se producía solo del 0.1 a 0.2 % de la producción mundial de hidrógeno, obteniendo la electricidad de las centrales hidráulicas.

El proceso solo puede aplicarse por razones económicas en lugares donde la generación hidráulica de electricidad sea abundante y muy barata (como Egipto, Brasil, Canadá y Noruega) o disponga de energía sobrante como con las centrales nucleares (Francia, Bélgica o Suecia).

2.12.1 El hidrógeno como energético⁴⁷

La energía química del hidrógeno puede convertirse de manera directa en energía eléctrica, sin tener que disponer de un paso intermedio mediante el accionamiento térmico de un ciclo de potencia, como sucede en las centrales generadoras de electricidad. Esta conversión química a energía eléctrica se lleva a cabo en celdas de combustible. La energía eléctrica puede emplearse tanto con fines estacionarios, para el suministro industrial, comercial y doméstico, como para el transporte, mediante el uso de vehículos híbridos (eléctricos-hidrógeno) o simplemente a base de hidrógeno.

En la llamada economía del hidrógeno se vislumbra a este elemento como el combustible del futuro. Entre sus características combustibles cabe señalar que se quema en el aire cuando hay concentraciones de entre 4 y 75 % de su volumen, por lo que tiene la

⁴⁷ Solís, Jesús J (2014). *Hidrógeno y energías renovables – Soluciones para un mañana sustentable*.

capacidad de arder en mezclas pobres; con ello se consigue una mayor facilidad de arranque, con la combustión más completa y una mejor economía del combustible. Además, la temperatura final de combustión es menor.

Cabe destacar que el mayor inconveniente que presenta el hidrógeno y que solamente se resolverá a medida que aumente el desarrollo tecnológico, es su baja densidad energética volumétrica (energía/volumen), que obliga a utilizar grandes recipientes de almacenamiento en vehículos pequeños y hace que la mezcla estequiométrica (aire/combustible) en los cilindros del motor tenga un menor contenido energético es que resulta en una pérdida de potencia. El uso de técnicas avanzadas de inyección del hidrógeno podría ser una solución para estos problemas.

El hidrógeno es en realidad un vector energético, una forma de energía secundaria que se debe producir a partir de fuentes primarias de energía como los hidrocarburos fósiles (petróleo, gas natural o carbón), razón por la que la producción de hidrógeno necesita grandes cantidades de energía primaria; además, la biomasa contiene hidrógeno, así como el agua. De ahí que se estime que cada litro de hidrógeno contiene 25 % menos energía que la que utilizó para su producción

Actualmente, el 94 % del hidrógeno producido a nivel mundial se origina mediante reformado de gas natural (metano), que consiste en partir la molécula de este gas al combinarla con vapor de agua, requiriendo para ello de un aporte de energía adicional. Este proceso es el de menor coste económico a gran escala, emite CO_2 al utilizar una materia prima de origen fósil. Estas emisiones son, en la práctica, de aproximadamente 7 kg de CO_2 por 1 kg de hidrógeno producido.

La pregunta real con el hidrógeno es si se puede producir electricidad mediante formas sustentables (eólica, hidráulica, geotérmica, etc.) pues su transformación significaría una pérdida de 20 a 25 % de la electricidad generada originalmente, luego se reconvertiría en electricidad nuevamente mediante baterías perdiendo así 20 % de energía adicional. Ambiental y económicamente, no parece tan viable.

CAPÍTULO 3

LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN MÉXICO

Tomando como base el concepto del capítulo anterior pero dejando a un lado el tema científico, es momento de conocer el desarrollo de las energías renovables en México

3.1 Panorama actual de las Energías Renovables en México

Sin duda alguna México es un país con los recursos naturales suficientes para hacer uso de ellos y convertirlos en energía que pueda generar electricidad y combustibles de origen natural. Respecto al uso de las fuentes renovables, México se ha rezagado con respecto a otras naciones, puesto que el país depende en demasía de la producción y consumo de su petróleo, incluso con la reciente Reforma Energética que supone trata de cambiar ese paradigma se ha visto en jaque por la volatilidad de los precios del petróleo en los últimos meses. Y dado que México es un exportador de energía primaria - petróleo fundamentalmente -, sumando el consumo interno de los derivados del petróleo, se puede afirmar que es un país *petrolarizado*.

Por lo anterior y para tener una perspectiva del panorama energético basado en energías renovables en México es necesario puntualizar cuál ha sido el desarrollo de las mismas a lo largo de los últimos 15 años.

En México, en el año de 1994 el total porcentual de generación bruta de energía a través de energías renovables fue del 15 % del total energético nacional y este panorama se mantuvo hasta el año 2000, donde los hidrocarburos mantuvieron la mayor participación en la oferta interna bruta de energía primaria. Durante este periodo, las energías renovables fueron empleadas principalmente para calefacción y para la generación de electricidad.

En 2001, las energías renovables más utilizadas eran la hidroelectricidad y la geotermia, representando el 27.1 % de la capacidad total del Sistema Eléctrico Nacional (SEN) y aportaron 17.1 % de la generación total. De acuerdo con la Comisión Económica

Para el Desarrollo de América Latina y el Caribe (CEPAL) en su *Anuario Estadístico de América Latina y el Caribe, 2008* y comparándolo con otros países del área, en México, solo el 9.9 % de la oferta total de energía era renovable, mientras que en Brasil el 42 % de su energía proviene de fuentes renovables.

Como estrategia para impulsar a las energías renovables, a finales del 2005 la Comisión Reguladora de Energía (CRE) autorizó 54 permisos para la generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables bajo las modalidades de autoabastecimiento, cogeneración y exportación, de los cuales, 37 estaban en operación para 2006.

El país aún se encuentra lejos de un mayor aprovechamiento de las energías renovables, pues la diferencia entre la capacidad instalada y generación eléctrica de las mismas con respecto a las energías convencionales aún es grande (Cuadro 3.1); teniendo en cuenta el nuevo panorama mundial sobre el cambio climático y el daño ambiental que producen los hidrocarburos, las energías renovables comienzan a figurar de manera más marcada dentro del sector eléctrico nacional.

Cuadro 3.1

| Capacidad Instalada y Generación de Energía Eléctrica Renovable vs Energía Eléctrica Convencional 2015* | | | | |
|--|----------------------------|----------|-----------------------------|----------|
| Tipo de Energía | Capacidad Instalada | | Generación Eléctrica | |
| | MWh/a | % | GWh/a | % |
| Energías Renovables | 16,666 | 28.78 | 52,170 | 18.76 |
| Energías Convencionales | 41,240.01 | 71.22 | 225,986.65 | 81.24 |

*Capacidad Instalada y generación eléctrica bruta al 30 de junio de 2015.

Fuente: Elaboración propia con datos del Inventario Nacional de Energías Renovables (INERE).

Hasta 2014, México contaba con una capacidad instalada para la generación de energía eléctrica de 65,452 MW, de los cuáles 16,047 MW provinieron de fuentes renovables de energía, lo que representó el 24.5% del total de la capacidad instalada⁴⁸. Para el año 2015, las principales energías renovables en México fueron la hidroelectricidad, la geotermia y la

⁴⁸ Fuente: Pro México - Inversión y Comercio. www.promexico.gob.mx.

energía eólica, mientras que la biomasa y la energía solar van ganando terreno, en ese mismo año, la capacidad instalada y generación de energía eléctrica por energía renovable fue la siguiente:

Cuadro 3.2

| Capacidad Instalada y Generación de Energía Eléctrica por Energía Renovable Total - 2015* | | | | | |
|--|----------------------------------|----------------------------|----------|-----------------------------|----------|
| Lugar | Tipo de Energía Renovable | Capacidad Instalada | | Generación Eléctrica | |
| | | MWh/a | % | GWh/a | % |
| 1 | Hidráulica (>30MW) | 12,038 | 72.23 | 35, 251 | 67.65 |
| 2 | Eólica | 2,621 | 15.73 | 7,676 | 14.73 |
| 3 | Geotérmica | 858 | 5.15 | 6,027 | 11.57 |
| 4 | Hidráulica (<30MW) | 436 | 2.62 | 1,740 | 3.34 |
| 5 | Biomasa | 647 | 3.88 | 1,414 | 2.71 |
| 6 | Solar | 66 | 0.16 | 62 | 0.12 |

*Capacidad Instalada y generación eléctrica bruta al 30 de junio de 2015.

Fuente: Elaboración propia con datos del Inventario Nacional de Energías Renovables (INERE).

Ahora bien, en México, el principal productor de energía es la Comisión Federal de Electricidad (CFE), la cual no solo se encarga de la generación de electricidad sino también de su distribución; en 2015, la CFE generó un total de energía eléctrica de 42,490 GWh/a a partir de energías renovables, siendo la biomasa el único tipo de energía renovable en la cual no incursiona. Respecto al sector privado, en 2015 generó 9,680 GWh/a en energía eléctrica, siendo la energía solar la de menos participación. Todo esto se puede observar en el cuadro 3.3.

Cuadro 3.3

| Generación Eléctrica Actual – Pública vs Privada* (GWh/a) | | | | | | |
|--|-------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------|--------------|----------------|
| Energías | Geotérmica | Hidráulica (>30 MW) | Hidráulica (<30 MW) | Eólica | Solar | Biomasa |
| CFE | 6,021 | 35,162 | 1,074 | 220 | 13 | No genera |
| Privados | 6 | 89 | 667 | 7,455 | 49 | 1,414 |
| Total Nacional | 6,027 | 35,251 | 1,740 | 7,676 | 62 | 1,414 |

Fuente: Elaboración propia con datos del Inventario Nacional de Energías Renovables (INERE).

*Capacidad instalada al 30 de junio de 2015.

3.2 Los desechos hechos energía: La biomasa en México

De acuerdo a la Secretaría de Energía (SENER), en 2006 la bioenergía representaba el 8 % del consumo final de energía primaria del país, dos años después en 2009 el consumo de biomasa representó 7.6 % del consumo final, es decir, 0.4 % menos que tres años antes, esto debido al menor consumo de leña en el sector residencial y a la caída en el consumo de bagazo de caña en el sector industrial (-10.4%).

Para 2014, la biomasa aportaba el 4.22 % del total de la energía primaria (SENER, 2014), siendo la leña y el carbón vegetal los recursos básicos, se estima que durante este año se consumieron 38 millones de metros cúbicos de madera⁴⁹.

Cuadro 3.4

**Producción Total de Biomasa por Leña
2000 - 2014
(GW al año)**

| Año | Producción Total (GW) | Año | Producción Total (GW) |
|------|-----------------------|------|-----------------------|
| 2000 | 79,160.09 | 2008 | 72,791.34 |
| 2001 | 74,192.73 | 2009 | 72,410.44 |
| 2002 | 73,955.28 | 2010 | 72,030.81 |
| 2003 | 74,174.31 | 2011 | 71,690.49 |
| 2004 | 74,070.11 | 2012 | 71,317.46 |
| 2005 | 74,009.34 | 2013 | 70,950.67 |
| 2006 | 73,500.13 | 2014 | 70,587.99 |
| 2007 | 73,121.78 | | |

Fuente: Elaboración propia con datos del Sistema de Información de Energía (SIE).

La Asociación Mexicana de Gas LP (AMEXGAS), explica que la principal razón del uso de leña son los elevados precios del gas LP y gas natural, alrededor del 15 % del total de la población hace uso de leña, especialmente aquella que se encuentra en zonas rurales y/o marginadas, y que emplea para cocinar alimentos y calentar viviendas⁵⁰. Cerca del 66 %

⁴⁹ Comisión Nacional Forestal. SEMARNAT.

⁵⁰ Vega, Juan y Ramírez, Santiago. *Fuentes de Energía, Renovables y No Renovables – Aplicaciones*. 2014

van al sector doméstico de autoconsumo y alrededor del 2 % para la producción de carbón vegetal, el resto va en partes iguales al sector doméstico comercial y a pequeñas industrias.

El potencial de la biomasa en México aún no es totalmente integral y concluyente, hasta 2014, del total de la bioelectricidad producida, el 90 % proviene de la combustión directa del bagazo de caña en ingenios azucareros y el resto de biogás de diversas fuentes, se espera que para 2018, la capacidad instalada aumente a 402 MW en plantas de generación distribuida con biomasa. Los estados con mayor generación de electricidad a base de biomasa son los siguientes:

Cuadro 3.5

| Generación de Electricidad a base de Biomasa por Estado 2015* | | | | | |
|--|-----------------------------|----------|------------------------|-----------------------------|----------|
| Estado | Potencia (GWh/a) | % | Estado | Potencia (GWh/a) | % |
| Aguascalientes | 12 | 1 | Nuevo León | 102 | 7 |
| Chiapas | 48 | 3 | Oaxaca | 54 | 4 |
| Chihuahua | 26 | 2 | Puebla | 29 | 2 |
| Colima | 23 | 2 | Querétaro | 2 | 0 |
| Durango | 2 | 0 | Quintana Roo | 24 | 2 |
| Edo. de México | 8 | 1 | San Luis Potosí | 148 | 10 |
| Guanajuato | 1 | 0 | Sinaloa | 25 | 2 |
| Jalisco | 215 | 15 | Tabasco | 58 | 4 |
| Michoacán | 23 | 2 | Tamaulipas | 32 | 2 |
| Morelos | 29 | 2 | Veracruz | 538 | 38 |
| Nayarit | 14 | 1 | | | |

*Generación eléctrica bruta correspondiente al 30 de junio de 2015.

Fuente: Elaboración propia con datos del Inventario Nacional de Energías Renovables (INERE).

En el país existen 60 plantas de biomasa, de las cuales 15 son para producción de biogás y el resto procesa a la biomasa a través de combustión directa, es decir, la quema de biomasa⁵¹.

⁵¹ Para ver cuáles y dónde se encuentran estas centrales de biomasa en México, ver Anexo de datos:

Cuadro A9.

3.2.1 Biocombustibles: Biodiesel y bioetanol a la mexicana

A nivel mundial se ha abierto un debate sobre su viabilidad económica y el impacto ambiental y social que implica la producción de biocombustibles, así como la búsqueda científica de más opciones de esta clase de combustibles. Los Estados Unidos, Brasil y la Unión Europea son los mayores productores y consumidores de esta clase de combustibles.

En el caso de México, se ha comenzado la producción de biocombustibles, proponiendo políticas públicas que generen el entusiasmo e interés económico de las compañías y agencias internacionales que promuevan su producción y consumo. Sin embargo, la principal cuestión es ¿qué tan viables son para México? En los últimos años este tipo de energía ha ido creciendo a nivel mundial, por este motivo en 2008, el Congreso Mexicano aprobó una ley para promover el uso de biocombustibles, la Ley para la Promoción y Desarrollo de Bioenergía⁵².

Un punto necesario a señalar es que en México, de acuerdo a la Ley de Biocombustibles, se prohíbe el uso de maíz para su producción a menos que haya un excedente en la producción nacional del grano, lo cual es improbable porque México importa gran parte del maíz que consume. Otro punto importante es que los biocombustibles en su mayoría deben ser obtenidos de materia cruda como: jatrofa, caña de azúcar, aceite de palma, residuos agrícolas o algas.⁵³ Ante esta perspectiva, y para poder obtener la materia prima que generaría la producción de biocombustibles, también es necesario impulsar el desarrollo agrícola que se ha visto estancado por décadas.

Cuando se habla de cifras, la segunda fuente de bioenergía es el bagazo de la caña de azúcar proveniente de los ingenios azucareros del país y se usan para producir calor y

⁵² Esta ley surgió en un contexto del entendimiento del sector público y los debates legislativos sobre la posibilidad de permitir una mayor inversión del sector privado en la compañía petrolera estatal, PEMEX a partir de combustibles más amigables con el medio ambiente. A pesar de esto, con PEMEX sometida a una nueva política energética, los cambios adoptados no incluyen ninguna obligación del uso de energías alternativas, aun así, los biocombustibles se siguen promoviendo.

⁵³ Información obtenida de: Antal, Edit y Carmona, Ernesto. *Biofuels: A global context and viability in México*. Voices of Mexico, #93. Pág. 102.

electricidad. Esta biomasa genera alrededor de 426 MW instalados y distribuidos en 48 ingenios azucareros.

Cuadro 3.6

**Producción Total de Energía por
Bagazo de Caña, 2000 - 2014
(GWh al año)**

| Año | Producción Total (GWh) | Año | Producción Total (GWh) |
|-------------|---------------------------------------|-------------|---------------------------------------|
| 2000 | 24,725.09 | 2008 | 27,535.24 |
| 2001 | 26,117.79 | 2009 | 24,787.02 |
| 2002 | 24,896.00 | 2010 | 24,780.20 |
| 2003 | 25,112.54 | 2011 | 25,177.63 |
| 2004 | 25,855.93 | 2012 | 26,411.31 |
| 2005 | 29,146.48 | 2013 | 34,398.28 |
| 2006 | 27,230.08 | 2014 | 30,323.10 |
| 2007 | 27,655.74 | | |

Fuente: Elaboración propia con datos del Sistema de Información de Energía (SIE).

Una de las principales características de las plantas generadoras de biomasa es que en su mayoría son antiguas y por ende su eficiencia es baja. La Comisión Reguladora de Energía (CRE), ha otorgado permisos para distintos proyectos de biomasa, los más relevantes son dos empresas papeleras que generan electricidad y vapor, una con bagazo de caña (10 MW) y otra incinerando licor negro (10 MW). Para 2011, la biomasa, que se integraba por bagazo de caña (30%) y leña (70%) incrementó de 348.28 PJ en 2010 a 348.67 PJ. En 2012 se concretó la entrada en operación de tres proyectos a partir de biomasa y biogás, por una capacidad total de 47.7 MW.

Reiterando, en México no existe una ley que obligue la producción de biocombustibles por lo que se han promovido a través de planes y programas de gobierno a nivel federal y estatal, por ejemplo, desde 2009 la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) ha ejecutado un programa de apoyo para la producción sustentable de biodiesel a partir de tres cultivos no alimenticios: palma de aceite, higuera y jatrofa, con esto se espera impulsar el desarrollo científico-

tecnológico sin afectar el sector agrícola ni la seguridad alimentaria al utilizar otros tipos de cultivos. En 2009 también, la SENER lanzó su propio programa para introducir los biocombustibles.

Estos programas han establecido metas voluntarias para tratar de reemplazar el equivalente a 2 % del combustible fósil consumido por biocombustibles en las tres ciudades más grandes del país: la Ciudad de México, Guadalajara y Monterrey. Hasta ahora, no se tienen resultados concretos de estos programas.

Hablando del caso del bioetanol, de acuerdo con la Prospectiva de Energías Renovables 2014 - 2018 de la SENER, se estimó una producción de entre 8 y 11 millones de litros de bioetanol para el año 2015, y se espera que crezca de 174 a 250 millones de litros anuales en 2025 y 2030 respectivamente. Sin embargo, poco se observa en términos de la ampliación de la capacidad nacional de producción, pues de 40 permisos que el gobierno ha otorgado en bioetanol, solo dos corresponden a proyectos de producción y dos para transporte, el resto son permisos de comercialización. Hasta 2014, el gobierno federal había otorgado 15 permisos para plantas cuya capacidad sea menor a 500 litros por día.

Desde el lado académico, en 2015 y gracias a estudios e investigaciones realizadas en el Instituto de Ingeniería de la UNAM, a través de una técnica existente que se aplicará en aguas residuales, se aprovecharán las microalgas para hacer combustibles limpios: biodiesel y bioetanol.

3.2.2 Biogás nacional

En México, la producción asciende a 432 GW/h, la cual es muy baja y, en su caso, constituye una prerrogativa de Estado, ya que la normatividad es estricta en ese sentido conforme a la Constitución, el Estado es el encargado del manejo y control de los hidrocarburos, ya sea petróleo, gas natural o biogás, pues tienen características similares; [...] México también enfrenta serios problemas para manejar los desechos sólidos. El país genera más de 100,000 toneladas de residuos sólidos, de los cuales, alrededor del 54.5 % se recolecta y deposita en condiciones sanitarias en basureros y 10.5 % bajo condiciones controladas, pero no en basureros; 32 % se deposita en condiciones no controladas y solo el

3 % llega a reciclarse (García Solís. 2014). En México existen plantas en operación y en proyecto para la producción de biogás, entre las más importantes se encuentran:

- **Tizayuca, Hidalgo:** Tiene un potencial total de 75,000 KW, con una cogeneración de 95 %. La electricidad producida es de 622 millones de KW/h al año, a partir de 1,500 toneladas de estiércol de ganado bovino por día.
- **Salinas Victoria, Nuevo León:** Cuenta con una planta energética de 7 MW que opera un sistema de extracción de biogás de una celda de 44 hectáreas de relleno sanitario dependiente del Sistema Metropolitano de Procesamiento de Desechos Sólidos de Monterrey. La planta comenzó a operar en el 2003 y suministra electricidad para el alumbrado público y el Sistema de Transporte Colectivo de Monterrey.
- **Ciudad de México:** Uno de los proyectos más ambiciosos, referentes al biogás, se pretende realizar en el relleno sanitario del Bordo Poniente, una planta productora de biogás que se destine al uso doméstico e industrial. La principal razón de esta planta es que en 2009, se analizaba la idea de cerrar en su totalidad el relleno sanitario pues estaba más allá de su máxima capacidad.

Asimismo, la UNAM contribuye activamente a la adopción de tecnologías para la producción de biogás, actualmente el Programa Universitario de Medio Ambiente, la Facultad de Química, el Instituto de Ingeniería y el Instituto de Investigaciones Sociales, encabezados por la Coordinación de la Investigación Científica con recursos y apoyo del CONACYT, están instalando una plantas piloto para tratar la parte orgánica de los residuos sólidos de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México y el área conurbada del Valle de Toluca.

- **Cancún, Quintana Roo:** En diciembre de 2003 entró en operación una planta de biogás, con su sistema de relevo de biogás, el cual es considerado 23 veces más peligroso y/o dañino para la atmósfera. Esta planta es capaz de generar suficiente energía para abastecer a 400 casas, alumbrado público y edificios las 24 horas del día.

La producción de biogás, aunque aún es incipiente, mostró un incremento de 13.4%, pasando de 1.3 PJ en 2010 a 1.5 PJ en 2011. Si bien la cantidad de este tipo de energía es aún pequeña, su participación cobra importancia dentro de una visión de diversificación de las fuentes de energía primaria.

A pesar de lo anterior, en años más recientes, se ha apostado a la producción de biogás a través del oro verde de México: el nopal, y el mayor ejemplo se encuentra en Zitácuaro, Michoacán. En enero de 2015, la empresa mexicana Nopalimex, inició la producción de biogás y electricidad a partir de la biomasa de nopal. El proyecto inició en 2007 con una serie de investigaciones sobre las potenciales aplicaciones del nopal y el proceso para la generación del biogás, con apoyo de expertos del Instituto Politécnico Nacional (IPN) y la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), así como la asesoría técnica y profesional del Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE).

Para 2008 la empresa logró la obtención de biogás a nivel experimental. De acuerdo con declaraciones de Miguel Aké Madera (director técnico de Nopalimex), con las necesidades de energía cubiertas, la firma puede entrar a la fase de comercialización de excedentes, ya sea de electricidad o biogás. En el último caso, el biogás que produzca alimentará el parque vehicular del municipio de Zitácuaro. Aké también afirma que “en el caso de la energía eléctrica, un watt de la CFE cuesta \$ 1.00 MX y nosotros estamos en unos ¢15 MX, por lo que es más rentable”. Lo más importante del proyecto, es que la tecnología es mexicana y no se necesita importar nada, como en el caso de la energía solar (paneles) o eólica (generadores)⁵⁴.

De acuerdo con el IIE, el nopal genera más biogás que el estiércol solo. Pues a demás de que se obtener alimentos, medicamentos, champús, fibras, cosméticos, está comprobado que tiene potencial para solucionar necesidades energéticas produciendo biogás, electricidad, etanol, biofertilizante orgánico. También encontró que el contenido energético del nopal es similar al del maíz, ya que una hectárea con una cosecha de 800 toneladas

⁵⁴ “¿Los nopales harán la competencia a la CFE?”. Expansión – Revista Digital. Marzo, 2015.

produce 40 metros cúbicos de gas. En esta extensión, la productividad máxima de biogás y energía sería de 32,000 metros cúbicos y 56 mega watts por hora por año, respectivamente.

3.3 El viento a favor de México: Energía Eólica

En cuanto a recursos eólicos, los vientos más fuertes destinados para generación de energía eólica a gran escala se reparten en tres zonas del país: Baja California, Oaxaca y la Península de Yucatán⁵⁵; siendo el estado de Oaxaca el mayor generador de energía eólica, esto debido a que es uno de los pocos lugares en el mundo donde el factor de potencia es de más del 90 %, es decir, el viento sopla a una muy buena velocidad durante el día y la noche. De acuerdo a la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES), otros estados de la república que se han identificado con potencial para el desarrollo de energía eólica son Hidalgo, Coahuila y Zacatecas.

Mapa 3.1 - Ubicación de las Centrales Eólicas en México*



*Capacidad instalada a junio de 2015.

Fuente: Inventario Nacional de Energías Renovables (INERE).

⁵⁵ La información sobre los parques eólicos se encuentra al final de este apartado.

Históricamente el desarrollo de sistemas comerciales de energía eólica comenzó en agosto de 1994, la CFE puso en operación la central eólica La Venta en Oaxaca, en la zona de Istmo de Tehuantepec, siendo la primera y única planta eólica integrada a la red eléctrica de México durante algunos años.

Hasta 2002 se calculaba que el potencial eólico de México superaba a los 40,000 MW⁵⁶, en este mismo año se contaba con una capacidad instalada total de sistemas eólicos de 2.2 MW⁵⁷ que generaron 8.83 GWh de energía eólica total (Cuadro 3.7). Entre 2005 y 2006, la CFE incrementó su capacidad instalada en sistemas de aerogeneración de 3 a 86 MW en el parque eólico La Venta, mediante un esquema de obra pública financiada⁵⁸ (OPF) por la empresa Vesta. Para el bienio 2008 – 2009, la CFE, después de haber llevado la licitación en La Venta III, aumentó su capacidad instalada de 332 a 453 MW, lo que representó un incremento de 36.4 % en 2009 respecto a 2008; asimismo.

Actualmente La Venta II y III son operadas por la empresa española Gamesa⁵⁹ constructora y productora de aerogeneradores, en una modalidad de Obra Pública Financiada (OPF) y como Productor Externo de Energía⁶⁰ (PEE), respectivamente.

La capacidad instalada total de las tres fases de La Venta hasta 2014 es de 86.5 MW y genera 218.04 GWh/a, lo cual representa el 3.40 % de la producción de energía eólica total.

En el periodo de 2009 al 2014, la capacidad instalada eólica en el país se multiplicó por siete, al pasar de 362 MW a 2,551 MW instalados en el país de los cuales la aportación

⁵⁶ México Cuarta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. INECC – SEMARNAT. PDF. 2002. [Fecha de consulta: Octubre de 2015].

⁵⁷ SENER. 2003.

⁵⁸ Obra Pública Financiada: Son proyectos en los cuales se reconoce el avance de obra pero no se paga en el momento sino al final y mediante el reconocimiento del algún certificado. Fuente: Banco Interacciones MX.

⁵⁹ No confundir con Grupo Gamesa.

⁶⁰ Productor Externo de Energía (PEE): IPP o Independent Power Producer, por sus siglas en inglés. Es una persona física, sociedad, asociación, fideicomiso u otra entidad o forma de asociación, ya sea con o sin personalidad jurídica en México, que sea titular de un permiso de productor externo de energía, que le autorice a proporcionar capacidad de generación de energía eléctrica y a vender la energía eléctrica asociada a la Comisión Federal de Electricidad (CFE), de conformidad con lo dispuesto en la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica y su Reglamento. Fuente: www.gas.pemex.com.mx

de electricidad a partir de esta fuente de energía llegó a los 6,426.20 GWh entre el sector público y privado en 2014. Dentro del periodo de estudio, la producción de de electricidad a partir de energía eólica por año es la siguiente:

Cuadro 3.7

**Producción Total de Energía Eólica
2000 - 2014
(GWh)**

| Año | Producción Total (GWh) | Año | Producción Total (GWh) |
|-------------|---------------------------------------|-------------|---------------------------------------|
| 2000 | 10.60 | 2008 | 263.97 |
| 2001 | 10.60 | 2009 | 2,010.36 |
| 2002 | 8.83 | 2010 | 1,238.61 |
| 2003 | 13.86 | 2011 | 1,648.32 |
| 2004 | 14.89 | 2012 | 3,688.31 |
| 2005 | 13.92 | 2013 | 4,184.54 |
| 2006 | 53.94 | 2014 | 6,426.20 |
| 2007 | 256.97 | | |

Fuente: Elaboración propia con datos del Sistema de Información de Energía (SIE).

En el Cuadro 3.7, se puede apreciar la evolución de la generación bruta de energía eólica. Algo importante que mencionar es que del año 2013 a 2014 hubo una disminución en la capacidad instalada de energía eólica, pasando de 598 MW a 597 MW, esto se debe a la baja de dos unidades del parque eólico La Venta 1, si bien el total de la baja es de 1 MW no perjudicó la producción de energía gracias a algunos proyectos de eficiencia energética. De acuerdo con el Grupo Eólico México, la energía eólica es la única que tiene actualmente la madurez tecnológica y competitividad económica para crecer a un ritmo de 1.5 GW por año.

Cuando se habla de las centrales y/o parques eólicos, se toma en cuenta su ubicación, actualmente son 9 los estados que generan electricidad a partir de energía eólica y son los siguientes:

Cuadro 3.8

| Generación de Energía Eléctrica a base de Energía Eólica por Estado 2015* | | |
|--|-------------------------|----------|
| Estado | Potencia (GWh/a) | % |
| Baja California | 93 | 1 |
| Chiapas | 90 | 1 |
| Jalisco | 167 | 2 |
| Nuevo León | 35 | 0 |
| Oaxaca | 7,072 | 92 |
| Quintana Roo | 2 | 0 |
| San Luis Potosí | 40 | 1 |
| Sonora | 1 | 0 |
| Tamaulipas | 176 | 3 |

*Generación eléctrica bruta correspondiente al 30 de junio de 2015.

Fuente: Elaboración propia con datos del Inventario Nacional de Energías Renovables (INERE).

Como se ha visto en el cuadro anterior, la capacidad de generación total de potencia, radica básicamente en Oaxaca con 7,072 GWh al año. Otro punto importante que resaltar es que la situación actual del aprovechamiento de esta energía es bastante menguado y concierne principalmente a abastecer necesidades propias de sus operadores o de zonas cercanas a los parques eólicos, sin embargo, hay que tener en cuenta que actualmente la energía eólica está teniendo un auge en su desarrollo y a precios competitivos.

De acuerdo a datos de la Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMDEE), la empresa GAMESA opera 14 parques eólicos de los cuales 12 son para autoabastecimiento, 1 se encuentra en modo OPF y 1 como PEE. Por su parte, las centrales Oaxaca I, III y IV son operadas por la empresa Acciona en una modalidad de PEE, con una capacidad instalada total de 306 MW. La empresa Vestas tiene los parques de Oaxaca I en modo PEE, Arriaga en Chiapas y Los Altos en Jalisco para autoabastecimiento, además de La Venta I

como OPF para la CFE. El parque eólico de Santa Catarina en Nuevo León lo opera General Electric para autoabastecimiento.⁶¹

México cuenta, con un importante desarrollo tecnológico para la generación de energía eólica, uno de sus mayores pioneros es el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), con más de 30 años de experiencia en este rubro, pues ha construido y operado dos plantas eólicas que le permiten adentrar nuevas tecnologías, reconocer sus ventajas y limitaciones para lograr una innovación en las mismas y después hacerlas parte de SEN. El sector privado por su parte hace uso de este tipo de energía, principalmente para autoabastecimiento y en algunos casos, produce sus propios aerogeneradores

Se estima que México podría alcanzar los 15 mil MW en energía eólica para 2024 sin considerar que en el país se cuenta con la mayoría de los materiales primarios para implementar parques eólicos, de acuerdo con información de la Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMDEE). El gobierno mexicano tiene la meta de llegar a 35 % de generación de electricidad mediante energía limpia al 2025 y, como ocurre en los países de la OCDE, 50 % de esta meta provendrá de la generación eólica.

3.3.1 Otros datos del viento en México

- Hasta 2011, el costo nivelado de generación eólica conectada a la red eléctrica era de 103 dólares por MWh⁶².
- Al 2014 había 2,552 MW operando en México.
- El gobierno federal espera cerrar el año 2016 con 23 parques eólicos.
- Se espera una generación de 15,000 MW entre 2020 y 2022.
- Existen 31 parques eólicos en operación en México, de los cuales 21 se encuentran en Oaxaca. Lo anterior representara más de 1,570 aerogeneradores en operación.

⁶¹ Para más información, consultar el cuadro 3.9

⁶² Secretaría de Energía (SENER). Estrategia Nacional de Energía 2012 – 2026. PDF. [Fecha de consulta: Diciembre 2015].

- La inversión total de 2004 a 2014 para el desarrollo de proyectos eólicos es de 5,100 millones de dólares.
- 40 % de la meta nacional de renovables depende de la energía eólica.
- 411,000 son las casas que cubren necesidades eléctricas por medio de energía eólica.
- En algunos estados de la república como Chihuahua y Sonora se utilizan sistemas eólicos para el bombeo de agua, los cuales son sumamente útiles en las localidades rurales.

- De acuerdo a la Comisión Reguladora de Energía (CRE), en 2015 la energía eólica creció un 55.2 % en capacidad y 24.7 % en generación debido al desarrollo de proyectos eólicos.

- En el año en curso (2016), el presidente Enrique Peña Nieto, inauguró las operaciones de la Central Eólica Sureste I – Fase II, ubicada en el municipio de Asunción Ixtaltepec, Oaxaca, tuvo una inversión de 157 millones de dólares y estuvo a cargo de la empresa ENEL Green Power, quien se encargará de su operación es la CFE. Este proyecto forma parte del Programa Nacional de Infraestructura 2014-2018 y busca fortalecer el desarrollo industrial de la entidad. Se instalaron 34 aerogeneradores, con una altura de 75 metros cada uno, la capacidad instalada es de más de 102 MW, que se traduce en más de 310,000 MWh al año de energía limpia y que se sumarán al Sistema Eléctrico Nacional; con ello se pretende evitar la emisión de más de 156,000 toneladas de bióxido de carbono por año⁶³.

⁶³ Rubí, Mauricio. Arranca segunda fase de Central Eólica Sureste I – Parte II. Marzo 3, 2016. El Financiero.

Cuadro 3.9

| Centrales Eólicas de México | | | | | |
|---|--|--------------------------|---------------------------|---------------------|-----------|
| Estado | Nombre | Capacidad Instalada (MW) | Generación Actual (GWh/a) | Inicio de Operación | Productor |
| Baja California | Sierra Juárez | 156 | 67.62 | 30/04/2015 | Privado |
| | Municipio de Mexicali | 10 | 25.05 | 29/10/2009 | Privado |
| B. C. Sur | Guerrero Negro | 0.6 | 0.03 | 02/04/1982 | CFE |
| Sonora | Energía Sonora PPE | 1.8 | 0.5 | 01/12/2014 | Privado |
| Tamaulipas | Compañía Eólica de Tamaulipas | 54 | 176.16 | 01/03/2014 | Privado |
| Nuevo León | Eólica Santa Catarina | 22 | 35.34 | 05/06/2012 | Privado |
| San Luis Potosí | Dominica Energía Limpia | 200 | 39.97 | 01/11/2014 | Privado |
| Jalisco | Los Altos | 50.4 | 166.7 | 01/12/2013 | Privado |
| Oaxaca | Fuerza y Energía BII HIOXO | 226.8 | 645.619 | 01/10/2014 | Privado |
| | Parque Eólico Piedra Larga-Fase 2 | 137.5 | 471.63 | 01/09/2014 | Privado |
| | Eólica El Retiro | 74 | 99.78 | 01/05/2014 | Privado |
| | Eoliatec del Pacífico | 160 | 706.92 | 28/02/2014 | Privado |
| | Eurus | 250.5 | 1023.7 | 30/06/2009 | Privado |
| | Eoliatec del Istmo | 164 | 606.97 | 01/07/2013 | Privado |
| | Energías Renovables Venta III | 102.85 | 274.45 | 31/08/2012 | Privado |
| | Oaxaca IV | 102 | 468.68 | 23/12/2011 | Privado |
| | Oaxaca III | 102 | 373.27 | 31/01/2012 | Privado |
| | Oaxaca II | 102 | 354.33 | 06/02/2012 | Privado |
| | Energías Ambientales de Oaxaca | 102 | 355.32 | 15/02/2012 | Privado |
| | Parques Ecológicos de México | 79.9 | 90.29 | 31/01/2009 | Privado |
| | Eólicos Mexicanos de Oaxaca I | 90 | 340.49 | 01/06/2011 | Privado |
| | Fuerza Eólica del Istmo | 80 | 196.23 | 08/10/2011 | Privado |
| | Stipa Nayaa (Bii Nee Stipa II) | 74 | 299.61 | 01/06/2012 | Privado |
| | Eólica de Zopiloapan (Bii Nee Stipa III) | 70 | 278.58 | 01/01/2013 | Privado |
| | Eléctrica del Valle de México | 67.5 | 178.87 | 01/04/2010 | Privado |
| | Bii Nee Stipa I | 26.35 | 89.56 | 01/04/2010 | Privado |
| Instituto de Investigaciones Eléctricas | 0.3 | 0.15 | 01/07/2012 | Privado | |
| La Venta | 84.65 | 218.04 | 10/11/1994 | CFE | |
| Chiapas | Eólica de Arriaga | 28.8 | 89.72 | 05/06/2012 | Privado |
| Quintana Roo | Yuumil Ik | 1.5 | 2.11 | 01/07/2011 | CFE |

*Capacidad instalada a junio de 2015.

Fuente: Elaboración propia con datos del Inventario Nacional de Energías Renovables (INERE).

3.4 México es líder mundial: Energía Geotérmica

La mayor parte del territorio mexicano se caracteriza por una gran actividad tectónica y volcánica que ha tenido lugar desde tiempos remotos hasta el presente. Esta actividad de la Tierra, ha dejado huella a lo largo y ancho del país en forma de sistemas volcánicos y sistemas hidrotermales, algunos ya inactivos mientras que otros han mantenido su actividad a lo largo del tiempo.

En el continente americano la primera planta de energía geotérmica fue la de Pathé en el estado de Hidalgo en México en 1959. Esta planta producía 3,500 KW, pero tuvo que ser abandonada ya que el vapor no era suficiente⁶⁴. Más adelante, México comenzaría la producción geotérmica industrial (75 MW) en abril de 1973, es decir, hace 40 años en Cerro Prieto. Lo que inicialmente se desarrolló como una fuente alternativa de energía para diversificar la oferta de fuentes primarias, en la actualidad se ha transformado en una fuente de energía económica, que incluso compite con centrales de ciclo combinado a los precios de mercado de gas natural.

Aunque la energía geotérmica generada en México representa solo el 5% del total nacional, de acuerdo a la Agencia Internacional de Energía⁶⁵, en la actualidad México se encuentra en el tercer lugar⁶⁶ a nivel mundial en producción de energía geotérmica, después de EU y Filipinas, y representa el 7 % de la capacidad mundial.

El recurso geotérmico se define como “la fracción del recurso accesible que podría ser extraída económica y legalmente en un futuro razonable cercano”, en tanto que la reserva geotérmica se define como “la energía térmica identificada para ser extraída legalmente en el presente, a un costo competitivo con el de otras fuentes de energía” (Vega, Juan C. y Ramírez, S. 2014). Como se explicó en el capítulo anterior, la clasificación de los recursos y reservas geotérmicas es de baja, media y alta temperatura; en el 2004 se estimó

⁶⁴ Geociencias, UNAM. González, Miguel Alejandro. Geotermia como alternativa energética en México - ¿es realmente viable? PDF. [Fecha de consulta: Marzo, 2016]

⁶⁵ IEA por sus siglas en inglés: International Energy Agency.

⁶⁶ Dependiendo de la fuente de consulta, algunas estadísticas señalan que México es el cuarto lugar a nivel mundial en producción de energía geotérmica.

que México contaba con reservas de baja y mediana temperatura en 276 localidades, sin embargo, estudios posteriores indicaron que podrían ser más; lo cual fue comprobado en 2011 pues de acuerdo con la Comisión Reguladora de Energía (CRE), el potencial geotérmico era de 8,623 MW sin explotar⁶⁷

Cuadro 3.10

**Producción Total de Energía Geotérmica
2000 - 2014
(GWh)**

| Año | Producción Total (GWh) | Año | Producción Total (GWh) |
|-------------|---------------------------------------|-------------|---------------------------------------|
| 2000 | N/D | 2008 | 44,405.29 |
| 2001 | N/D | 2009 | 42,414.51 |
| 2002 | N/D | 2010 | 41,648.84 |
| 2003 | 37,382 | 2011 | 41,472.28 |
| 2004 | 41,390.81 | 2012 | 36,980.29 |
| 2005 | 45,934.55 | 2013 | 36,476.67 |
| 2006 | 42,070.48 | 2014 | 36,077.32 |
| 2007 | 46,595.34 | | |

Fuente: Elaboración propia con datos del Sistema de Información de Energía (SIE).

Con lo que respecta a los campos geotérmicos más importantes del país, cada uno tiene su particularidad. Por ejemplo, Cerro Prieto con sus 570 MW es el sostén básico de la generación en el sistema aislado del noroeste del país, frontera con California, donde hasta hace poco su aporte era del 65% de ese sistema. Los Azufres, en el altiplano mexicano a 2,800 m sobre el nivel del mar y a 200 km de la capital del país, generan casi 383.2 MW con la gran ventaja para el sistema central que no consume agua de enfriamiento ni emite gases de combustión. Los Humeros con 51.8 MW es el yacimiento con más alta temperatura del país (400° C).

⁶⁷ Comisión Reguladora de Energía. Evaluación de la Energía Geotérmica en México. 2011. PDF. [Fecha de Consulta: enero 2016]

Cuando se habla de costos, hasta el año 2011, el costo nivelado de energía geotermoeléctrica era de 93 dólares por MWh⁶⁸.

Cuadro 3.11

| Generación de Energía Eléctrica a base de Energía Geotérmica por Estado - 2015 | | |
|---|-------------------------|----------|
| Estado | Potencia (GWh/a) | % |
| Baja California | 3943 | 65 |
| Baja California Sur | 50 | 1 |
| Michoacán | 1566 | 26 |
| Nayarit | 6 | 0 |
| Puebla | 462 | 8 |

*Generación eléctrica bruta correspondiente al 30 de junio de 2015.

Fuente: Elaboración propia con datos del Inventario Nacional de Energías Renovables (INERE).

Actualmente la CFE cuenta con 858 MW de capacidad instalada en cuatro centrales geotérmicas que son responsables de generar 5 % de la energía del SEN y además, existe una central privada. Sus características son las siguientes:

➔ **Cerro Prieto:** Localizada en el estado de Baja California, a unos 30 km de Mexicali, es el segundo campo geotérmico más grande del mundo y su fuente de calor es debido a una anomalía en la corteza terrestre. Cerro Prieto es operada por la CFE y cuenta con cuatro centrales de diferente capacidad de generación (30 MW, 100 MW y dos de 220 MW), la primera central comenzó sus operaciones en el año de 1973 y la última en el año 2000. Debido a que es una zona en su mayoría agrícola, existe un excedente no identificado de energía eléctrica que es exportada a los Estados Unidos.

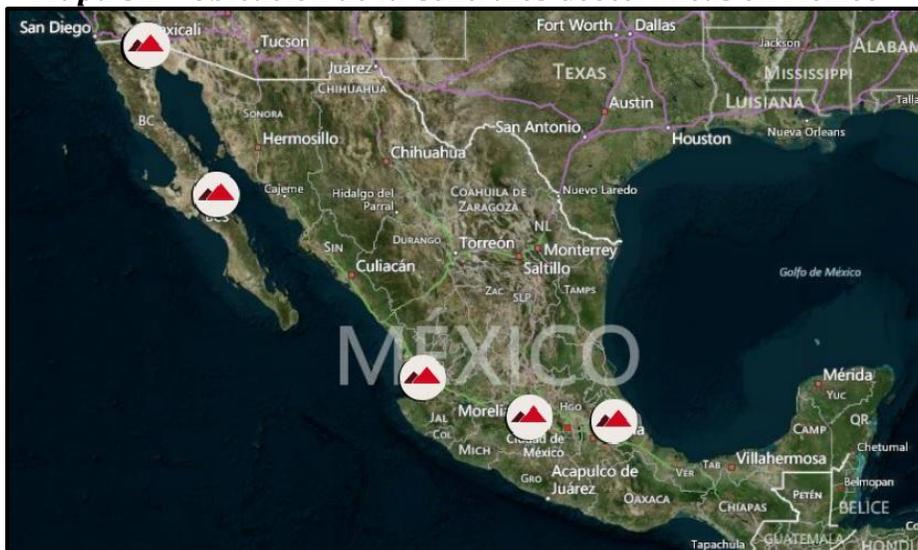
➔ **Los Azufres:** Se localiza en el estado de Michoacán a unos 250 km de la Ciudad de México en un complejo volcánico a 2,800 m de altitud, y por tanto, es un campo de tipo

⁶⁸ Secretaría de Energía (SENER). Estrategia Nacional de Energía 2012 – 2026. PDF. [Fecha de consulta: Diciembre 2015].

volcánico. Comenzó sus operaciones en 1982 y para el año 2003 generaba 188 MW. Los Azufres siguen creciendo y el 25 de septiembre de 2015, se inauguró la Planta Geotermoeléctrica “Los Azufres III – Fase 1” en Zinampécuaro, Michoacán.

- **Tres Vírgenes:** Ubicada en Baja California Sur. La central está constituida por dos unidades de condensación de 5 MW cada una, las cuales entraron en operación el año de 2001. Para 2006, la central generó 25 GW/h.
- **Los Humeros:** Esta central se encuentra ubicado en la zona volcánica de México, en los límites de Puebla y Veracruz. La central geotermoeléctrica de Los Humeros comenzó su operación en el año de 1991 y está constituida por ocho turbogeneradores, la más reciente unidad inició operación a finales de julio de 2007.
- **Geotérmica para el Desarrollo S.A.P.I de C.V.:** San Pedro Lagunillas, Nayarit. A manos de privados, esta central de autoabastecimiento inició sus operaciones el 4 de abril de 2014 con una capacidad instalada de 35 MW, en la actualidad genera 5.8 GWh/a de energía eléctrica. Asimismo y de acuerdo con el convenio de licitación, esta central es para uso exclusivo de autoabastecimiento, es decir, no puede vender la energía eléctrica que esta genere a la población o terceros.

Mapa 3.2 - Ubicación de las Centrales Geotérmicas en México*



*Capacidad instalada a junio 2015.

Fuente: Inventario Nacional de Energías Renovables (INERE).

Queda más que claro que el desarrollo de la energía geotérmica en México está a cargo de la CFE, además de la investigación sobre reservas geotérmicas, la operación y mantenimiento de las centrales, la CFE se ha mantenido constante en la elaboración de estudios de prefactibilidad en más de 41 zonas geotérmicas.

Cuadro 3.12

| Centrales Geotérmicas de México* | | | | | |
|---|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|-----------------|------------------|
| Estado | Nombre | Capacidad Instalada (MW) | Generación Actual (GWh/a) | Unidades | Productor |
| Baja California | Cerro Prieto IV | 100 | 801.04 | 4 | CFE |
| | Cerro Prieto III | 220 | 1,420 | 2 | CFE |
| | Cerro Prieto II | 220 | 1,420 | 2 | CFE |
| | Cerro Prieto I | 30 | 302.22 | 5 | CFE |
| B. C. Sur | Tres Vírgenes | 10 | 50.02 | 2 | CFE |
| Nayarit | Geo. para el Desarrollo | 35 | 5.88 | 3 | Privado |
| Michoacán | Los Azufres | 191.6 | 1,565.68 | 14 | CFE |
| | Los Azufres III - Fase 1 | 191.6 | 1,540.85 | 1 | CFE |
| Puebla | Los Humeros | 51.8 | 462.1 | 9 | CFE |

*Capacidad instalada a junio de 2015.

Fuente: Elaboración propia con datos del Inventario Nacional de Energías Renovables (INERE).

Tal es el impacto de la energía geotérmica que se prevé en nuestro país, que la Secretaria de Energía (SENER) anunció que la Ley de Energía Geotérmica, que forma parte de las leyes secundarias, dará a la Comisión Federal de Electricidad (CFE) una ronda cero para escoger los campos geotérmicos que más le convengan y el resto podrán ser explotados por la iniciativa privada. Además, en el 2013 la SENER anunció la creación de un mecanismo financiero para blindar la exploración de fuentes geotérmicas, esto es, que si la inversión destinada a descubrir concentraciones de calor en el subsuelo no resulta productiva, entonces hay un seguro que cubrirá parte de los gastos. Se trata concretamente de un seguro proveniente del Fondo de Transición Energética y el Aprovechamiento

Sustentable de la Energía⁶⁹, que aportará 150 millones de pesos, y del Fondo para la Tecnología Limpia, que aportará 34.4 millones de dólares.

Uno de los primeros y más relevantes panoramas a futuro se encontraron en una iniciativa de la SENER que fue presentada durante el sexenio de Felipe Calderón en noviembre de 2012, en la cual se propuso la incorporación de 2 GW de nueva capacidad geotérmica durante el periodo 2012-2020, lo que tendría un impacto agregado en el PIB de 95 mil 400 millones de pesos y generaría 36 mil 700 empleos. El proyecto suponía una inversión aproximada de 117 mil 300 millones de pesos, de los cuales 65 por ciento estaban concentrados en la industria nacional. Con esos 2 GW se reduciría hasta en 13 % la necesidad de importación de gas natural y permitiría reducir 8.4 millones de toneladas de CO₂ para el año 2020.

A la llegada de Enrique Peña Nieto al poder, se calculó que en total hay 104 proyectos de geotermia terminados o en licitación y 254 considerados para licitaciones futuras entre 2012 y 2027, según datos del Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico (POISE). Un mapa de la gerencia de proyectos geotermoeléctricos de la CFE muestra que salvo la Península de Yucatán, el resto del territorio mexicano tiene un gran potencial geotérmico por la actividad tectónica y volcánica caracteriza al país.

Las regiones donde la CFE ha ubicado una mayor factibilidad para estos proyectos son Cerritos Colorados en Jalisco, El Ceboruco en Nayarit, Piedras de Lumbre en Chihuahua y Tulecheck en Baja California, así como Acoculco en Puebla, cerca de la frontera con Hidalgo y Veracruz.

⁶⁹ Se habla con más detalle de estos fondos y programas en el siguiente capítulo.

3.5 El poder de Tláloc: Energía Hidráulica

Históricamente la llegada de la industria eléctrica a México estuvo asociada al crecimiento económico que hubo durante el Porfiriato, especialmente en algunos sectores económicos que comenzaron a utilizar energía eléctrica como fuerza motriz, especialmente la industria minera y textil. ¿Qué tiene que ver esto con la energía hidráulica? La respuesta es simple, la energía hidroeléctrica fue la primera energía renovable establecida en México.

En 1889, el Ministerio de Fomento elaboró una estadística de plantas y sistemas generadores de energía, el resultado fue que la capacidad instalada en el país era de 837.89 KW en 60 plantas, de las cuales 9.5 % eran de origen hidráulico y el resto de origen térmico; de esta potencia instalada, 71.56 % se iba a servicios públicos y el resto a privados. En el año de 1899, la capacidad instalada era de 31,038.82 KW, de los cuales 38.8 % eran generados de forma hidráulica. Hasta este punto, existían 14 plantas hidroeléctricas y 5 de vapor⁷⁰.

En 1933, el Departamento de Control de la Industria Eléctrica de la Secretaría de Economía Nacional elabora una nueva estadística, el resultado fue que en ese año, la capacidad instalada era de 542,953.28 KW, de los cuales 61.73 % era de origen hidráulico. Así, hasta 1940 la energía hidráulica fue la energía predominante, el tipo de centrales hidroeléctricas usadas en esa época contaban principalmente con turbinas horizontales; hasta este punto, las características técnicas de los equipos eran totalmente fijadas por los fabricantes, además de que estos equipos eran en su totalidad de importación. Fue hasta la creación de la CFE en 1937 y con su expansión, cuando se iniciaría el diseño de equipos de acuerdo a las especificaciones y aplicaciones técnicas hechas por la misma comisión.

En 1960, diseños innovadores de la tecnología para centrales hidroeléctricas comenzaron a utilizarse en la construcción de grandes centrales hidroeléctricas en el rango de 100 MW. Sin embargo, para las décadas de los 70's y 80's, las centrales hidroeléctricas comienzan a perder espacio en el mercado eléctrico nacional.

⁷⁰ Es preciso saber que estas centrales hidráulicas eran en su mayoría centrales minihidráulicas.

Hablando del periodo de investigación, en tiempos más recientes, a la llegada del año 2001, había 26 centrales hidroeléctricas en funcionamiento con un total de 92 unidades generando energía, esto representó una capacidad instalada total de 9,268.30 MW, la cual generó 27,272.90 GWh en ese mismo año. Para 2006, el Sistema Eléctrico Nacional (SEN) estaba compuesto por un total de 73 centrales hidroeléctricas en operación, 55 de la CFE y 18 de la extinta Luz y Fuerza del Centro (LyFC), con 10,545 MW de capacidad total instalada. De las 73 centrales, 46 eran pequeñas unidades de 30 MW o menores con capacidad de 365 MW.⁷¹ En este mismo año, las centrales hidroeléctricas generaban alrededor de 9.6 % de la energía eléctrica producido en el SEN⁷².

Después de la eliminación de la paraestatal LyFC en 2009, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) es la principal empresa que se encarga del suministro de energía eléctrica a nivel nacional, tomando control también de las centrales hidroeléctricas que pertenecían a LyFC. Para noviembre de 2012, la CFE inauguró la central hidroeléctrica de La Yesca en los límites de Jalisco y Nayarit. Su capacidad instalada es de 750 MW, esto es alrededor de 50 % de la demanda energética de la zona metropolitana de Guadalajara.

Cuadro 3.13

**Producción Total de Hidroenergía
2000 - 2014 (GWh)**

| Año | Producción Total (GWh) | Año | Producción Total (GWh) |
|-------------|-------------------------------|-------------|-------------------------------|
| 2000 | 33,074.88 | 2008 | 39,194.17 |
| 2001 | 28,435.33 | 2009 | 26,717.83 |
| 2002 | 24,861.59 | 2010 | 37,130.76 |
| 2003 | 19,823.58 | 2011 | 36,246.60 |
| 2004 | 25,146.56 | 2012 | 31,882.95 |
| 2005 | 27,682.03 | 2013 | 28,002.47 |
| 2006 | 30,417.60 | 2014 | 38,892.77 |
| 2007 | 27,314.58 | | |

Fuente: Elaboración propia con datos del Sistema de Información de Energía (SIE).

⁷¹ García Solís, J. Jesús. Hidrógeno y energías renovables – Soluciones para un mañana sustentable. 2014.

⁷² Barnes de Castro, Francisco. Las energías renovables en México. Comisión Reguladora de Energía.

México. 2006. PDF. [Fecha de consulta: octubre 2015].

Aunque los datos no son totalmente concluyentes y pueden variar, se estima que para 2015 del total de la capacidad eléctrica instalada en el país, un 22 % corresponde a la energía hidroeléctrica, otro dato importante a señalar es que durante este año hubo una disminución en la generación hidroeléctrica del 26.2 % con respecto al año anterior debido a la sequía registrada en las regiones sur y sureste de México⁷³. La situación actual de la energía hidroeléctrica se aprecia según la capacidad instalada en el país⁷⁴ como se aprecia en el siguiente cuadro:

Cuadro 3.14

| Generación de Energía Eléctrica a base de Energía Hidráulica por Estado⁷⁵ - 2015* | | | | | |
|---|-------------------------|----------|------------------------|-------------------------|----------|
| Estado | Potencia (GWh/a) | % | Estado | Potencia (GWh/a) | % |
| Chiapas | 15,592 | 42 | Michoacán | 2,804 | 8 |
| Chihuahua | 85 | 0 | Nayarit | 4,024 | 12 |
| Coahuila | 48 | 0 | Oaxaca | 1,293 | 3 |
| Durango | 28 | 0 | Puebla | 1,676 | 5 |
| Edo. de México | 8 | 0 | San Luis Potosí | 113 | 0 |
| Guanajuato | 6 | 0 | Sinaloa | 2,007 | 5 |
| Guerrero | 5,343 | 15 | Sonora | 714 | 2 |
| Hidalgo | 2,028 | 5 | Tamaulipas | 11 | 0 |
| Jalisco | 700 | 2 | Veracruz | 513 | 1 |

*Generación eléctrica bruta correspondiente al 30 de junio de 2015.

Fuente: Elaboración propia con datos del Inventario Nacional de Energías Renovables (INERE).

Como se puede observar son 8 los estados que cuentan con una alta potencia de generación de hidroelectricidad:

- 1) **Chiapas** – Con una capacidad instalada total de 4,828.48 MW. El estado cuenta con 4 grandes centrales: *Peñitas* con 420 MW, *La Angostura* con 900 MW, *Chicoasén* con 2,400 MW y *Malpaso* con 1,080 MW; y 3 pequeñas centrales: *Bombana* con 5.24 MW, *José Cecilio del Valle* con 21 MW y *Schpoiná* con 2.24 MW. Todas a cargo de la CFE.

⁷³ Fuente: Comisión Reguladora de Energía. CRE. www.cre.gob.mx

⁷⁴ Para más detalles sobre las centrales hidroeléctricas del país, consultar anexo de datos, Cuadro A10.

⁷⁵ Para ver la distribución de las centrales hidroeléctricas, ver anexo: Centrales hidroeléctricas por estado.

- 2) **Guerrero** – Con una capacidad instalada total 1,828 MW, cuenta dos grandes centrales: *El Caracol* con 600 MW y *El Infiernillo* con 1,160 MW; y tres pequeñas centrales: *La Venta* 30 MW, *Colotlipa* con 8 MW y *Mexicana de Hidroelectricidad Mexhidro* con 30 MW, esta última pertenece a privados.
- 3) **Nayarit** – Con una capacidad instalada total de 2,462.18, tiene 4 centrales, de las cuales 3 son grandes centrales: *Aguamilpa* con 960 MW, *La Yesca* con 750 MW y *El Cajón* con 750 MW; y 1 pequeña central: *Jumatán* con 2.18 MW.
- 4) **Michoacán** - Con una capacidad instalada de 582.08 MW, en el estado se encuentran 12 centrales. De las 12, 4 son grandes centrales: *Cuapatitzio* con 80 MW, *El Cóbano* con 60 MW, *La Villita* con 320 MW y *Tepuxtepec* con 74 MW; además de 8 pequeñas centrales: *Bartolinas* con 0.75 MW, *Botello* con 18 MW, *Itzícuaró* con 0.62 MW, *Gobierno del Edo. De Michoacán* con 4.05 MW (privada), *El Platanal* con 12.6 MW, *San Pedro Porúas* con 2.56 MW, *Tirio* con 1.1 MW y *Zumpimito* con 8.4 MW.
- 5) **Hidalgo, Puebla y Sinaloa** - Comparten el quinto lugar, cada estado cuenta con 1, 7 y 6 centrales respectivamente. **Hidalgo:** *Zimapán* con 292 MW. **Puebla:** con 5 grandes centrales: *Mazatepec* con 220 MW, *Necaxa*⁷⁶ con 109 MW, *Patla* con 37 MW, *Tepexic* con 45 MW y *Compañía de Energía Mexicana* (privada) con 36 MW; y 3 pequeñas centrales: *Portezuelos I y II* con 3.06 MW y *Energía EP* (privada) con 0.41 MW. **Sinaloa** con 5 grandes centrales: *Bacurato* con 92 MW, *El Fuerte* con 59.4 MW, *Humaya* con 90 MW, *Luis D. Colosio* con 422 MW y *El Comedero* con 100 MW; y una pequeña central: *La Sanalona* con 14 MW.
- 6) **Oaxaca** – Con una capacidad instalada total de 356.48 MW, tiene el 3 % de la generación total y cuenta con dos centrales: una pequeña central, *Tamazulapan* con 2.48 MW; y una gran central, *Temascal II* con 354 MW.

⁷⁶ Necaxa fue la primera gran central hidroeléctrica en construirse en México.

Algo que resaltar, es que los estados de Veracruz y Jalisco cuentan con 12 y 10 centrales hidroeléctricas respectivamente, esto puede generar cuestionamientos sobre su generación de energía y es que más que la capacidad instalada, lo que causa una mayor relevancia es su generación total de energía eléctrica, es decir, los GWh/a.

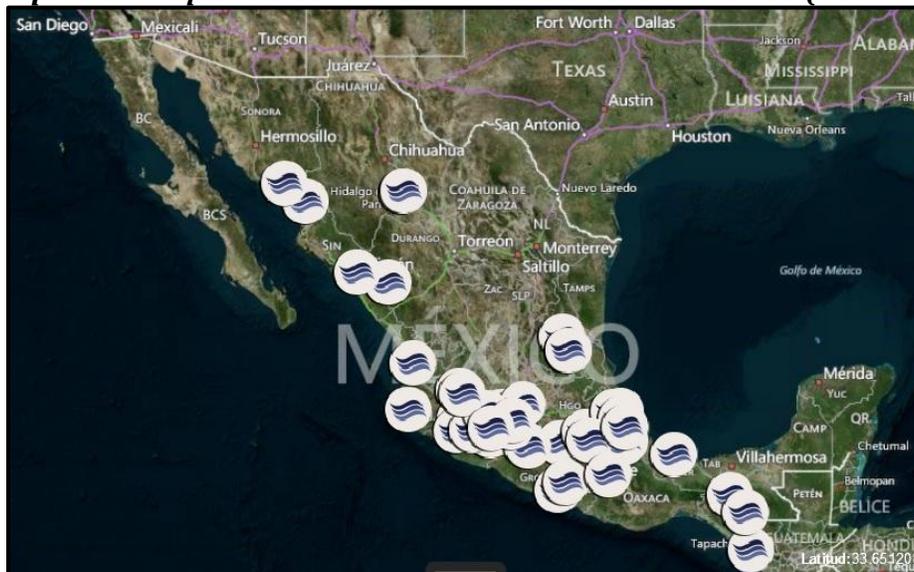
Mapa 3.4 - Grandes centrales hidroeléctricas en México (>30 MW)



*Capacidad instalada a junio de 2015.

Fuente: Inventario Nacional de Energías Renovables (INERE).

Mapa 3.5 - Pequeñas Centrales Hidroeléctricas en México (≤30 MW)



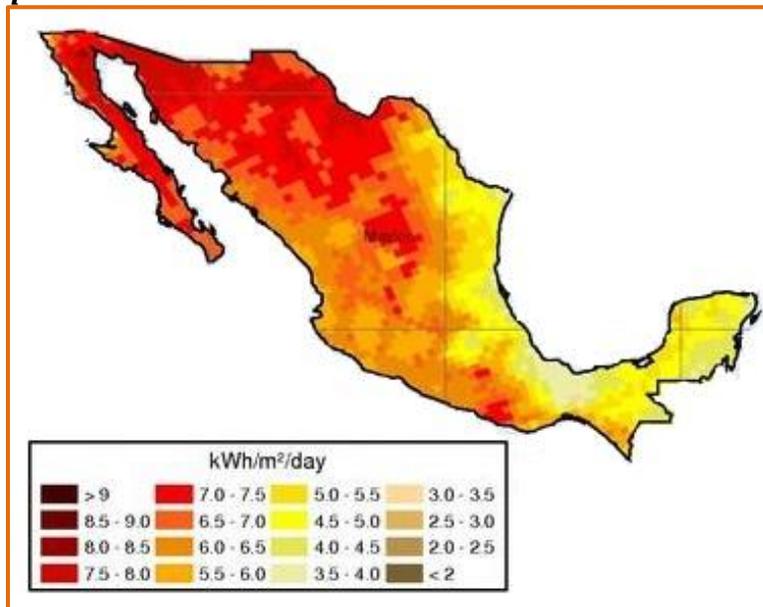
*Capacidad instalada a junio de 2015.

Fuente: Inventario Nacional de Energías Renovables (INERE).

3.6 Águila y Sol: Energía Solar

Para tener una perspectiva real es necesario hacer hincapié en los recursos disponibles para la generación de energía renovable en México. En el caso de la energía solar, la radiación normal directa es de especial importancia para los concentradores solares en sus diferentes tipos. Como se puede observar en la figura de abajo, México tiene un potencial sobresaliente en el noreste de su territorio, alcanzando los 7.5 – 8.0 KWh/m² /día en promedio, los estados con mayor potencial para su aprovechamiento son Sonora, Baja California y Chihuahua, pues muestran altos niveles de insolación como se muestra en el mapa 3.6.

Mapa 3.6 - Radiación Normal Solar Directa Anual en México



Fuente: National Renewable Energy Laboratory (NREL). Map Search.

La radiación que incide sobre una superficie plana inclinada al mismo ángulo que la latitud del lugar también es muy importante ya que, según recomendaciones de expertos, esta es la inclinación ideal para sitios localizados cerca del trópico; además de ser la radiación que se utiliza para paneles fotovoltaicos y calentadores solares. En la imagen anterior, se puede ver que varía en promedio en México entre 4.5 – 5.0 KWh/m² /día, la cual es superior a la de muchos países que usan energía solar, tal es el caso de Alemania.

Tomando la información anterior, esto significaría que la transformación de energía solar a electricidad en un dispositivo de dos metros cuadrados puede proporcionar electricidad a un hogar mexicano cuyo consumo asciende a 300 KWh al mes.

Históricamente, el desarrollo de los sistemas fotovoltaicos en México se inició en el Centro de Investigación y Estudios Avanzados (CINESTAV) del Instituto Politécnico Nacional (IPN), al construirse una pequeña planta piloto con una capacidad de producción de fotoceldas en los años 60's, esto permitió proveer de electricidad a un número significativo de aulas dentro del sistema nacional de telesecundarias (ANES, 2015⁷⁷).

Uno de los pioneros en establecer programas para el uso de energía solar es la SAGARPA, en octubre del 2000, estableció el Programa de Energía Renovable para la Agricultura, en el cual dio apoyo a proyectos para el uso de sistemas fotovoltaicos para el bombeo de agua. De esta manera, los sistemas instalados entre 2001 y 2002 fueron de 431 con 3,347 módulos y una capacidad de 238 MW (SENER, 2003).

De 1993 a 2003, la capacidad instalada de sistemas fotovoltaicos incrementó de 7 a 15 MW, generando más de 8,000 MWh/año para electrificación y telefonía rural, bombeo de agua para abrevaderos agropecuarios y refrigeración. Para sistemas termosolares, al 2003 se tenían instalados más de 573,919 m² de calentadores solares planos, con una radiación promedio de 18,841 kJ/m²/día, generando 2.77 PJ de calor útil para calentar agua.

De 2004 a 2010, la capacidad instalada de sistemas fotovoltaicos aumento de 0.9923 MW que generaron 0.0317 PJ de electricidad a 3.502 MW con una generación de 0.111 PJ de energía eléctrica, es decir, 0.079378 PJ más que en 2004. El uso final de la energía obtenida a través de sistemas fotovoltaicos fue para electrificación rural, comunicaciones, bombeo de agua y refrigeración; algo importante a señalar es que a partir de 2010 comenzó su uso residencial.

Si se habla de sistemas termosolares, durante el 2004 se tenían instalados 642,644 m² de calentadores planos con una radiación solar promedio de 18,841 kJ/m²/día, generando

⁷⁷ Asociación Nacional de Energía Solar. ANES.

⁷⁸ Cálculo: elaboración propia con datos de la ANES.

3.070 PJ de calor. Para 2010 se tenían instalados 1,655,502 m² de calentadores planos con una radiación solar promedio de 20,880 kJ/m²/día, generando 4.798 PJ de calor. El uso final de sistemas termosolares en México durante este periodo fue para calentamiento de agua albercas, hoteles, clubes deportivos, casas habitación, industria y hospitales.

Algo importante es que las instalaciones pequeñas para obtener energía del sol, como los paneles instalados en las azoteas de las casas, generan cuatro veces más electricidad que los parques solares (o fotovoltaicos), es decir, unos 208 MW de la capacidad total de 260 MW, de acuerdo a datos de la ANES.

Cuadro 3.15
Producción y Consumo Total de Energía Solar
2000 - 2014
(Petajoules al año)

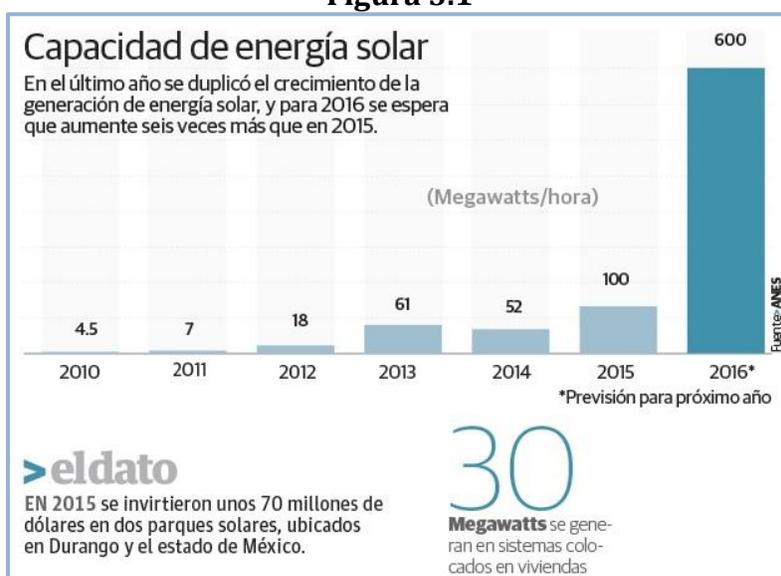
| Año | Producción Total/Oferta | Consumo Final Total/Demanda | Consumo Final por Sector | | |
|-------------|-------------------------|-----------------------------|--------------------------|--------------------|-------------------|
| | | | Sector comercial | Sector residencial | Sector industrial |
| 2000 | 1.82 | 1.80 | 0.69 | 1.02 | 0.08 |
| 2001 | 2.18 | 2.16 | 0.83 | 1.23 | 0.10 |
| 2002 | 2.43 | 2.40 | 0.92 | 1.37 | 0.11 |
| 2003 | 2.79 | 2.76 | 1.06 | 1.57 | 0.13 |
| 2004 | 3.10 | 3.07 | 1.18 | 1.75 | 0.14 |
| 2005 | 2.16 | 2.09 | 0.80 | 1.19 | 0.10 |
| 2006 | 2.35 | 2.29 | 0.88 | 1.30 | 0.11 |
| 2007 | 2.83 | 2.77 | 1.06 | 1.58 | 0.13 |
| 2008 | 3.33 | 3.27 | 1.59 | 1.48 | 0.19 |
| 2009 | 4.10 | 4.01 | 1.54 | 2.28 | 0.19 |
| 2010 | 4.96 | 4.86 | 1.80 | 2.84 | 0.22 |
| 2011 | 5.80 | 5.66 | 2.18 | 3.22 | 0.27 |
| 2012 | 6.64 | 6.43 | 2.56 | 3.53 | 0.33 |
| 2013 | 7.60 | 7.24 | 2.82 | 4.04 | 0.38 |
| 2014 | 8.73 | 8.06 | 3.12 | 4.53 | 0.41 |

Fuente: Elaboración propia con datos del Sistema de Información de Energía (SIE).

En 2015 se alcanzó una capacidad de generación de energía solar de hasta 260 MW, debido a que unas 10 mil residencias se integraron al sistema eléctrico, y se inició la construcción de dos parques solares, ubicados en Durango y el Estado de México.

Asimismo, en 2014 la generación de energía solar en el país aumentó 52 megawatts, y en 2015 se integraron 100 MW más, es decir, hubo un crecimiento en el sector de 100 %; pero la mayoría de las instalaciones, cerca de un 80 %⁷⁹, son propiedad de individuos o empresas privadas, principalmente PyMes. Estos datos son notorios en el cuadro 3.15, donde se observa que el mayor consumo por sector que se le ha dado a la energía solar en México es en el sector comercial y sector residencial, principalmente a partir de los sistemas termosolares para el calentamiento de agua como ya se mencionó, el uso de paneles solares para la generación de electricidad poco a poco ha ido en aumento.

Figura 3.1



Fuente: Diario "La Razón de México" con datos de la ANES

Carlos Flores, vocero de la ANES, afirma que la electricidad generada por energía solar en México hasta el año 2015 es de apenas el 0.4 % del total nacional; debido en parte a que solo 0.06 % de las viviendas utilizan paneles solares⁸⁰, el resto de la energía solar generada en el país, proviene de calentadores solares. Hasta 2015, en el país había unos 30 millones de viviendas habitadas, de las cuales la mitad usan calentador de agua de gas, pero si instalaran un sistema dual conectado a la red eléctrica y paneles solares, tendrían una reducción de su gasto de un 80 %.

⁷⁹ Pedrero, Ericka. *Casas y PyMes generan 80 % de la energía solar*. Diciembre, 2015. www.razon.com.mx

⁸⁰ Pedrero, Ericka. *Casas y PyMes generan 80 % de la energía solar*. Diciembre, 2015. www.razon.com.mx

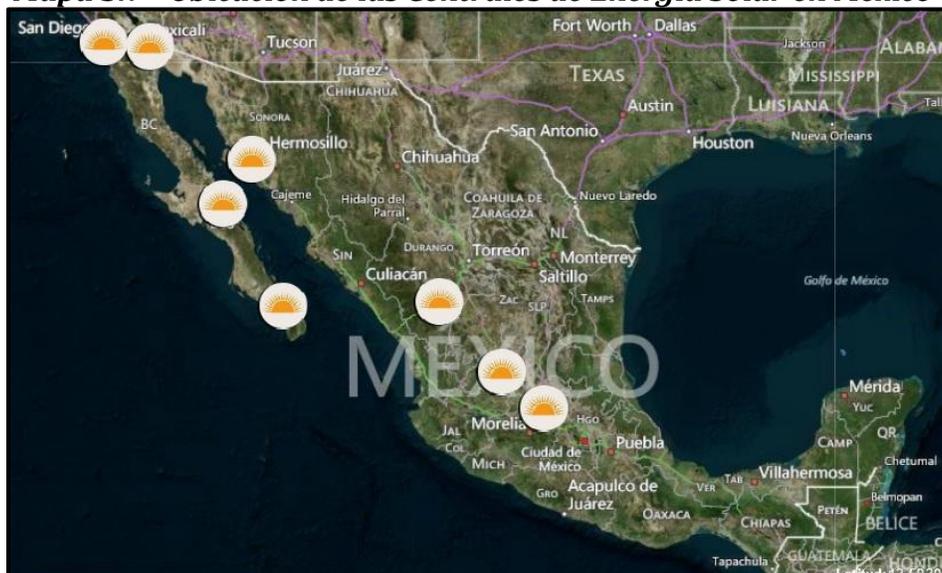
Cuadro 3.16

| Generación de Energía Eléctrica con Energía Solar por Estado 2015 | | |
|--|-------------------------|----------|
| Estado | Potencia (GWh/a) | % |
| Aguascalientes | 2 | 3 |
| Baja California | 13 | 20 |
| Baja California Sur | 33 | 52 |
| Durango | 15 | 23 |
| Guanajuato | 1 | 1 |
| Sonora | 1 | 1 |

*Generación eléctrica bruta correspondiente al 30 de junio de 2015.

Fuente: Elaboración propia con datos del Inventario Nacional de Energías Renovables (INERE).

Mapa 3.7 - Ubicación de las Centrales de Energía Solar en México*



*Capacidad instalada a junio de 2015

Fuente: Inventario Nacional de Energías Renovables (INERE).

La ANES ha detallado que durante el 2015 se instalaron en el país entre 39 y 49 MW en parques solares, entre 18 y 20 MW en instalaciones comerciales de mediana escala, de 28 a 30 MW para el sector residencial y en pequeñas instalaciones, 1 MW para alumbrado público y 3 MW más para electricidad rural y el bombeo de agua. Asimismo, durante el 2015 se invirtieron unos 200 millones de dólares, para aumentar la capacidad de generación

en 100 megawatts más, de los cuales 70 millones fueron para instalar parques solares. Por su parte, la Secretaría de Energía (SENER) afirma que no se registraron cambios en la capacidad instalada respecto al año anterior.

3.6.1 Los sistemas fotovoltaicos y sus ventajas para México

- ✓ México cuenta con un gran nivel de radiación solar, la cual se puede convertir directamente en energía eléctrica.
- ✓ Se instala muy fácilmente, no genera ruido ni emisiones y su costo cada vez es menor. Además, el mantenimiento del sistema es mínimo pero debe ser regular.
- ✓ Su tiempo de vida es relativamente largo, de 20 años o más, dependiendo del mantenimiento que se le brinde al sistema.
- ✓ Con las nuevas tecnologías muchos sistemas fotovoltaicos pueden generar electricidad en días nublados, fríos o con poca luz.
- ✓ Por las noches los paneles ya no producen electricidad pero debido a que se mantiene la conexión con la red eléctrica pública se sigue utilizando la energía que envía la CFE, por lo que no hay riesgo de no contar con electricidad.
- ✓ El excedente de electricidad que generan los paneles fotovoltaicos, se regresa a la CFE a través de las líneas eléctricas para que pueda ser utilizada por otros usuarios.
- ✓ El medidor registra cuánta electricidad se devuelve a la red y esto se acredita watt por watt para que pueda ser utilizada después, es como hacer un depósito de electricidad al medidor y de dinero al recibo de luz, logrando una reducción considerable en el pago del servicio por muchos años⁸¹.

⁸¹ Un contra importante a este punto es que el precio de las tarifas del servicio de electricidad varían a nivel nacional dependiendo de la zona, temporadas y bloques, por lo que la inversión en un sistema fotovoltaico puede no resultar atractivo para algunos, el único incentivo es que se está ayudando al ambiente y que a largo

- ✓ De acuerdo a la ANES, para 2016 se prevé que la generación de MW a través de la energía solar se incremente 600 %, es decir, seis veces más que 2015, debido a que habrá un mayor interés e inversión en el sector.

Cuadro 3.17

| Centrales Fotovoltaicas en México | | | | | |
|--|---|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------|------------------|
| Estado | Nombre | Capacidad Instalada (MW) | Generación Actual (GWh/a) | Inicio de Operación | Productor |
| Baja California | PLAMEX | 1.112 | 1.76 | 12/04/2014 | Privado |
| | Cerro Prieto | 5 | 10.83 | 30/01/2013 | CFE |
| Baja California Sur | Santa Rosalía | 1 | 2.07 | 12/10/2012 | CFE |
| | Servicios Comerciales de Energía | 38.75 | 30.43 | 01/11/2013 | Privado |
| Sonora | Coppel | 0.986 | 0.66 | 01/04/2014 | Privado |
| Durango | Tai Durango Uno | 16.8 | 14.58 | 26/03/2014 | Privado |
| Aguascalientes | Autoabastecimiento Renovable | 1 | 1.66 | 17/03/2011 | Privado |
| Guanajuato | Generadora Solar Apaseo | 0.99 | 0 | 09/08/2013 | Privado |

Fuente: Elaboración propia con datos del Inventario Nacional de Energías Renovables (INERE).

*Capacidad instalada a junio de 2015.

plazo, se ven los beneficios en el pago de las tarifas eléctricas, pero no existe como tal una recuperación de la inversión hecha.

3.7 Energía Nuclear: La perspectiva nacional

La Central de Laguna Verde fue construida y es operada por la Comisión Federal de Electricidad (CFE). La central está localizada en la costa oeste del país en el centro del Golfo de México, en el municipio de Alto Lucero, Veracruz. Para su operación cuenta con un par de unidades gemelas provistas con reactores de agua a ebullición (BWR⁸²), con un diseño de contención Mark II, suministrados por la compañía General Electric. Tiene una capacidad de 1365 MW⁸³ en total, conectada a la red eléctrica nacional, y entrega a esta red un promedio de energía de 10,479 GW⁸⁴ por hora. Utiliza uranio 235 enriquecido, aproximadamente al 3 – 4 %, como combustible nuclear para la producción de vapor que se conduce a turbinas que accionan un generador para producir electricidad. El vapor de salida de las turbinas se descarga en el condensador que se refrigera con agua de mar.

Para controlar la reacción dentro del reactor se utilizan barras de control tipo cruciformes que contienen carburo de boro para absorber los neutrones y detener la reacción en cadena. En caso de que las barras no se introdujeran de manera adecuada, el reactor cuenta con un sistema que se encarga de apagar el reactor de manera alternativa a las barras de control. Este sistema utiliza una solución de pentaborato de sodio, el cual es inyectado al reactor para apagarlo.

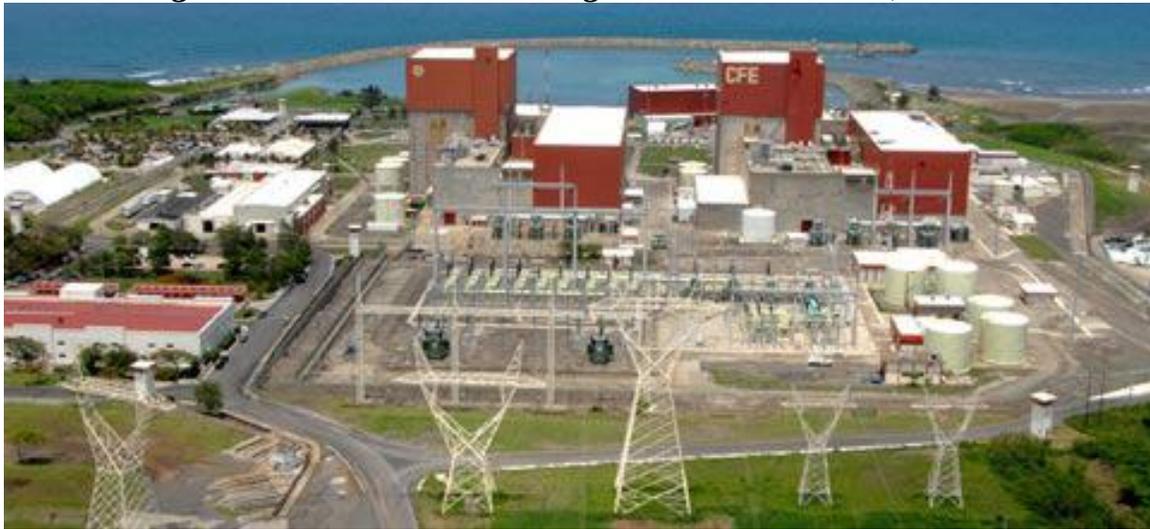
Desde su inicio de generación eléctrica, la Central Laguna Verde cuenta con una licencia de operación otorgada por 30 años para cada una de las unidades. Después de 15 ciclos de operación y recargas de combustible en la primera unidad y de 10 ciclos en la segunda, la experiencia operacional de la central refleja que con el tiempo se ha afianzado y se han obtenido resultados satisfactorios, de manera que ha sido reconocida tanto dentro del país como internacionalmente. La Central ha adoptado desde hace varios años la metodología de la Asociación Mundial de Operadores de Centrales Nucleares para evaluar el comportamiento de los parámetros más importantes de seguridad y producción.

⁸² BWR: Boiling Water Reactor por sus siglas en inglés.

⁸³ Megawatt: Medida de potencia que equivale a 1 millón de watts. Fuente: The Free Dictionary.

⁸⁴ Gigawatt: Medida de potencia que equivale a mil millones de watts. Fuente: The Free Dictionary

Figura 3.2 - Central Nuclear Laguna Verde. Veracruz, México



Fuente: www.sener.gob.mx

Actualmente, la energía nuclear producida por la central Laguna Verde representa el 2 % del total de la energía producida en el país, mientras que en sus inicios en los años 90's, llegó a representar el 5 % del total de la energía nacional

Cuadro 3.18

**Producción Total de Energía Nuclear
2000 - 2014
(GWh al año)**

| Año | Producción Total (GWh) | Año | Producción Total (GWh) |
|-------------|-------------------------------|-------------|-------------------------------|
| 2000 | 25,091.94 | 2008 | 29,620.83 |
| 2001 | 26,860.83 | 2009 | 31,318.06 |
| 2002 | 29,714.44 | 2010 | 17,761.88 |
| 2003 | 31,908.61 | 2011 | 29,554.15 |
| 2004 | 27,953.89 | 2012 | 25,365.77 |
| 2005 | 32,744.44 | 2013 | 34,054.88 |
| 2006 | 33,171.94 | 2014 | 27,943.42 |
| 2007 | 31,801.67 | | |

Fuente: Elaboración propia con datos del Sistema de Información de Energía (SIE).

Históricamente, uno de los momentos más significativos que ha pasado la energía nuclear en el país es la cancelación de un programa nuclear específico, de acuerdo a declaraciones del Dr. Juan Eibenschutz, Director General de la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias (CNSNS), este programa realizó un concurso para una o dos unidades de 1100 MW, el cual se hizo en dos partes, la parte técnica y la parte financiera, y que tenía 2 mil millones de dólares reservados para el mismo. La razón de su cancelación es que el programa coincidiría con la crisis de 1982.

La CFE inició en 2005 el Programa de Rehabilitación, Repotenciación y Modernización para ambas unidades de la Central, de manera que durante la recarga 13 y 14 de la primera unidad y de la recarga 10 y 11 de la segunda estén realizados todos los trabajos de implementación de dicho programa para que se alcance la capacidad de nominal de generación de 810 MW en cada unidad. Con ello la Central incrementará su capacidad en 250 MW por ambas unidades, además de aumentar la confiabilidad y la vida útil de los componentes de la Central Laguna Verde.

Cuadro 3.19

| Datos Técnicos de la Central Nuclear Laguna Verde | |
|--|--|
| Inicio de operaciones comerciales | Unidad 1: 29 de junio de 1990 Unidad 2: 10 de abril de 1995 |
| Número de Unidades | 2 |
| Tipo de Reactor | BWR/5 General Electric, reactor de agua ligera en ebullición |
| Edificio de Contención | Tipo Mark II |
| Barras de Control | 109 por unidad |
| Cantidad de combustible por reactor | 444 ensambles, 92 toneladas combustible (UO ₂) al 3.7 % enriquecimiento U235 en promedio |
| Recarga de combustible | Cada 18 meses, 112 ensambles al 3.9 % U235 en promedio |
| Poder calorífico del uranio | 4.018 GJ/Kg |
| Capacidad eléctrica neta | 654 MW |
| Capacidad eléctrica bruta | 682 MW |
| Capacidad original por unidad | 654 MW |
| Capacidad instalada por unidad | 810 MW |
| Eficiencia bruta | 33.60% |
| Proveedor de generadores | Mitsubishi Heavy Industries |

Fuente: Elaboración propia con datos de la CFE, CONACYT y Sociedad Nuclear Mexicana A.C

Hablando del manejo de los residuos radiactivos, primero hay que aclarar algo, la radiación misma no contamina, el claro ejemplo de esto es la radiación solar. Lo que realmente contaminan son los materiales que emiten radiación y que son absorbidos por la materia. Ahora bien, los residuos de Laguna Verde se encuentran confinados en la misma central, recibiendo monitoreo constante.

3.7.1 ¿Qué representa la Central Laguna Verde?

- 5 de cada 100 focos, 5 de cada 100 empresas utilizan la energía eléctrica producida por esta central y se evitan entre 6 y 8 millones de toneladas de CO₂ anuales.
- La Central Laguna Verde no produce ningún efluente que contribuya al calentamiento global, si los más de 190 millones de MW/h generados por la Central desde su inicio de operación comercial se hubieran producido mediante plantas de carbón o combustóleo se hubieran emitido alrededor de 130 millones de toneladas de CO₂.
- Hasta 2015 Laguna Verde generó el 4% del total de energía generada en el Sistema Eléctrico Nacional y empleó a 1,400 trabajadores.
- La central obtuvo el Premio Internacional de Calidad 2015 categoría World Class, que es la más alta, otorgado por la *Organización para la Calidad en Asia Pacífico* (APQO, por sus siglas en inglés) desde el 2001. Este premio reconoce los altos estándares de calidad en la administración de los procesos de la planta, en su planeación estratégica, enfoque al cliente, enfoque al mercado y los resultados de negocios de esta, entre otros indicadores.
- Laguna Verde tiene la certificación ISO 14001⁸⁵, la de Industria Limpia, el reconocimiento de Excelencia Ambiental, el Premio Balance Score Card y el Premio Iberoamericano de la Calidad.

⁸⁵ La certificación ISO 14001 tiene el propósito de apoyar la aplicación de un plan de manejo ambiental en cualquier organización del sector público o privado. Fue creada por la Organización Internacional para Normalización (International Organization for Standardization - ISO), una red internacional de institutos de

Uno de los principales contras de energía nuclear en México es que la tecnología usada para su producción no es nacional, y su adquisición representa un gasto significativo. Otro contra es que educativamente, la ciencia y estudios en energía nuclear no está desarrollada, los únicos programas de formación académica en las áreas de ingeniería nuclear y ciencias nucleares que se ofrecen en México se encuentran en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINESTAV) del IPN, en el Posgrado de Ingeniería de la UNAM y en la Universidad Autónoma de Zacatecas.

Asimismo, uno de los mayores portavoces a favor de la energía nuclear en el país es la Sociedad Nuclear Mexicana, cuyos principales objetivos son:

- ✓ Promover el uso de la energía nuclear como un elemento de diversificación energética, respetuoso del medio ambiente y que contribuye a elevar el bienestar social del país.
- ✓ Difundir información de los beneficios de la energía nuclear y sus las aplicaciones.
- ✓ Coadyuvar, en el ámbito nacional e internacional, al reconocimiento de la calidad profesional de sus miembros, estableciendo vínculos con otras sociedades profesionales y propiciar la colaboración de expertos de otras disciplinas técnicas y científicas.

3.8 Energía del Hidrógeno: ¿Tiene futuro en México?

Otra de las energías limpias más controversiales que existen actualmente es la energía del hidrógeno. Como se mencionó en el capítulo anterior, aun siendo uno de los elementos más abundantes en la naturaleza este no se encuentra en un estado puro, es decir, está mezclado con otros elementos por lo que los procesos para su obtención son complejos y costosos.

Hablando específicamente del caso mexicano, de 2009 a 2011 hubo una producción significativa de hidrógeno. En este periodo, se produjo en el Sistema Nacional de

normas nacionales que trabajan en alianza con los gobiernos, la industria y representantes de los consumidores. Además de ISO 14001, existen otras normas ISO que se pueden utilizar como herramientas para proteger el ambiente, sin embargo, para obtener la certificación de protección al medio ambiente solo se puede utilizar la norma ISO 14001. El grupo de normas ISO, que contiene diversas reglas internacionales que han sido uniformizadas y son voluntarias, se aplica ampliamente en todos los sectores de la industria. Fuente: www.fao.org

Refinación 198,000 ton/año de hidrógeno que equivalieron a 225 MMSCFD por año, esto es 23.08 PJ y 6.61 TW/h.

Cuadro 3.20

| Producción de Hidrógeno en México 2007 - 2016 (MMSCFD⁸⁶) | | | |
|--|---------------|-------------|---------------|
| Año | MMSCFD | Año | MMSCFD |
| 2007 | 162.0 | 2012 | 183.0 |
| 2008 | 129.0 | 2013 | 183.0 |
| 2009 | 225.0 | 2014 | 183.0 |
| 2010 | 225.0 | 2015 | 183.0 |
| 2011 | 225.0 | 2016 | 183.0 |

Fuente: Elaboración propia con datos del Hydrogen Analysis Resource Center.

Cuando se habla de la infraestructura para la producción de este energético, es el sector privado quien tiene las herramientas, México cuenta con 36 plantas para la generación de hidrógeno, con una capacidad instalada de 16,797 toneladas al año y de las cuales 25 plantas son por reformación de gas natural, 6 por reformación de gas propano y 5 por electrolisis del agua.

La cuestión principal para este energético sería si es viable para México. El hidrógeno es una energía del futuro y actualmente existen tecnologías en distintas fases de investigación, desarrollo y comercialización que permiten producir hidrógeno a partir de diversos procesos tomando como materias primas el agua, la biomasa y algunos hidrocarburos pero en la realidad, la sustentabilidad del proceso de producción de hidrógeno dependerá de la tecnología empleada y de la fuente energética externa, sin embargo, para México el agua no es una opción social y ambientalmente viable pues para su obtención, se necesita la descomposición de la estructura química de la misma.

⁸⁶ MMSCFD: million standard cubic feet per day por sus siglas en inglés o MMPCS/D millones de pies cúbicos estándar por día. Es una unidad de medida para los gases que se utiliza principalmente en los EU y se utiliza comúnmente como una medida de gas natural, gas LP, y otros gases que se extraen, procesan o transportan en grandes cantidades. Fuente: www.petroleo.colmex.mx

3.9 Energía Oceánica: La fuerza de los mares mexicanos

En México, la energía oceánica se encuentra en desarrollo por lo que no existen centrales energéticas de este tipo y tampoco un cálculo probado, probable y posible sobre su potencial para la generación de energía eléctrica. Sin embargo, algunas instituciones y órganos como el Instituto de Ingeniería de la UNAM están en proceso de desarrollo de centrales prototipos para conocer la viabilidad de este tipo de energía en el país.

Uno de los esfuerzos más destacados para el aprovechamiento de la energía oceánica es en CEMEI⁸⁷ – Océano. El cual surge como un consorcio de 56 socios conformados por centros de investigación, instituciones de educación superior, empresas y asesores internacionales de alto nivel. Este consorcio del CEMIE – Océano se encuentra liderado por la UNAM y su Instituto de Ingeniería. Este CEMIE fue aprobado en el año en curso (2016) por la SENER y el CONACyT, con el apoyo económico del Fondo de Sustentabilidad Energética.

Los principales objetivos del CEMIE-Océano es convertirse en el centro con mayor cantidad de líneas de investigación en temas de aprovechamiento de la energía del océano, desarrollo de tecnologías de alto impacto social e industrial.

⁸⁷ CEMEI: Centros Mexicanos de Innovación en Energía, son una iniciativa de la SNER y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), a través del fondo de Sustentabilidad Energética, alienada a estas necesidades: el aprovechamiento de las energías renovables, la consolidación y vinculación de las capacidades científicas y tecnológicas existentes en estos temas, y la consecuente formación de recursos humanos especializados y fortalecimiento de infraestructura para la investigación. Existe un CEMEI para cada energía renovable disponible en el país, son proyectos nacionales, integrales e incluyentes que comprende la conformación de un consorcio donde participan instituciones públicas y privadas. cada uno creado como respuesta a lo propuesto en la Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética de 2008. Fuente: www.sustentabilidad.energia.gob.mx

CAPÍTULO 4

SUSTENTABILIDAD EN MÉXICO: ENERGÍA, AMBIENTE Y CAMBIO CLIMÁTICO

A nivel mundial, las fuentes de energía renovables han ido en aumento, especialmente en los últimos años – gracias a la importancia que se le ha dado a los temas ambientales, y particularmente al tema del cambio climático -, otra razón muy importante por la cual estas energías tuvieron un auge, es el avance de la tecnología que se relaciona con ellas y que es un factor determinante para la generación de energía eléctrica de manera eficiente, además de ser una aliada del desarrollo sustentable.

4.1 El uso final de la energía

En el Capítulo 2 se habló de las leyes físicas y químicas que rigen la transformación de la energía y de cuatro conceptos importantes, de los cuales se definieron solo dos: energía primaria y energía secundaria. Sin embargo, no se puede ignorar que los seres humanos le han dado un uso económico a estas transformaciones. Ahora veremos a la energía desde uno de los dos conceptos restantes, es decir, desde su uso económico.

El uso final de la energía es la aplicación de la energía que utilizamos para satisfacer algunas de nuestras necesidades. Por ejemplo, utilizamos energía mecánica para desplazarnos, combustibles para calentarnos o electricidad para iluminarnos (Riba; Sans y Torrents. 2013). Así, si se analiza cómo se transforma la energía primaria en una energía secundaria disponible para satisfacer nuestras necesidades, se puede establecer un índice de eficiencia energética, lo cual se resume en una faceta cuantitativa: cuánta energía se transforma y se consume, y cualitativa: vinculada principalmente al uso final que ha tenido.

4.2 Producción y consumo de energía en México

Siguiendo la línea del uso final de la energía, es menester rectificar que existen dos vectores de energía fundamentales: la electricidad y los combustibles. Todas las fuentes de energía primaria son transformadas en energías secundarias como las antes mencionadas pues son indispensables para el desarrollo humano. A continuación veremos cuánta y qué energía se produce y consume.

4.2.1 Producción

La producción es el total de la energía extraída o capturada del subsuelo, explotada o recolectada dentro del territorio nacional. La cantidad producida de fuentes primarias de energía suele medirse cerca del punto de extracción de las reservas y excluye cualquier cantidad que no se conserva para su uso o venta.

Cuadro 4.1
Producción de Energía
2000 - 2014
(Petajoules)

| Tipo de Energía | 2000 | 2006 | 2008 | 2010 | 2012 | 2013 | 2014 |
|----------------------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Carbón | 226.70 | 283.39 | 289.82 | 306.49 | 310.81 | 299.88 | 303.37 |
| Total Hidrocarburos | 8,542.82 | 9,520.15 | 8,902.62 | 8,304.88 | 8,035.66 | 7,961.43 | 7,755.20 |
| Nucleoenergía | 90.33 | 119.42 | 106.64 | 63.94 | 91.32 | 122.60 | 100.60 |
| Total Renovables | 495.17 | 626.57 | 667.23 | 642.84 | 621.48 | 636.01 | 666.98 |
| Hidroenergía | 119.07 | 109.50 | 141.10 | 133.67 | 114.78 | 100.81 | 140.01 |
| Geoenergía | 0.00 | 151.45 | 159.86 | 149.94 | 133.13 | 131.32 | 129.88 |
| Energía solar | 1.82 | 2.35 | 3.33 | 4.96 | 6.64 | 7.60 | 8.73 |
| Energía eólica | 0.04 | 0.19 | 0.95 | 4.46 | 13.28 | 15.06 | 23.13 |
| Biogas | 0.25 | 0.44 | 0.81 | 1.30 | 1.82 | 1.97 | 1.94 |
| Total Biomasa | 373.99 | 362.63 | 361.18 | 348.52 | 351.82 | 379.26 | 363.28 |
| Bagazo de caña | 89.01 | 98.03 | 99.13 | 89.21 | 95.08 | 123.83 | 109.16 |
| Leña | 284.98 | 264.60 | 262.05 | 259.31 | 256.74 | 255.42 | 254.12 |
| TOTAL | 9,355.02 | 10,549.54 | 99,66.30 | 9,318.16 | 9,059.26 | 9,019.91 | 8,826.15 |

Fuente: Elaboración propia con datos del Sistema de Información de Energía (SIE).

En el Cuadro 4.1 se puede observar el desarrollo de la producción de energía a través de 14 años. Como se puede observar, los hidrocarburos representan más del 85 % de la producción de energía desde el año 2000 y si bien para 2013 hubo una disminución, esta se debe principalmente a la caída en los precios del petróleo a nivel mundial, además de la caída en la producción del energético a partir del agotamiento de uno de los yacimientos más representativos del país: Cantarel.

Para el caso de las energías renovables, el cambio no ha sido exorbitante pero sí considerable, pues a lo largo de 14 años ha ido en un aumento pequeño pero constante. Del año 2000 a 2013, la producción de energía con energías renovables tuvo un aumento del 1.75 %; y de 2000 a 2014 el crecimiento fue de 2.25 %. Ahora bien, de 2013 a 2014, la producción de energía con energías renovables tuvo un aumento de 0.50 %, un avance poco significativo pero que puede entenderse como un resultado muy temprano ante la aplicación de la Reforma Energética.

Dentro del mismo marco de producción, se incluye a la **oferta interna bruta de energía**, que es la cantidad de energía primaria y secundaria disponible en el territorio nacional para satisfacer las necesidades energéticas en los procesos de transformación, distribución y consumo.

Cuadro 4.2
Oferta Interna Bruta Total por Energético, 2000 - 2014
(Petajoules)

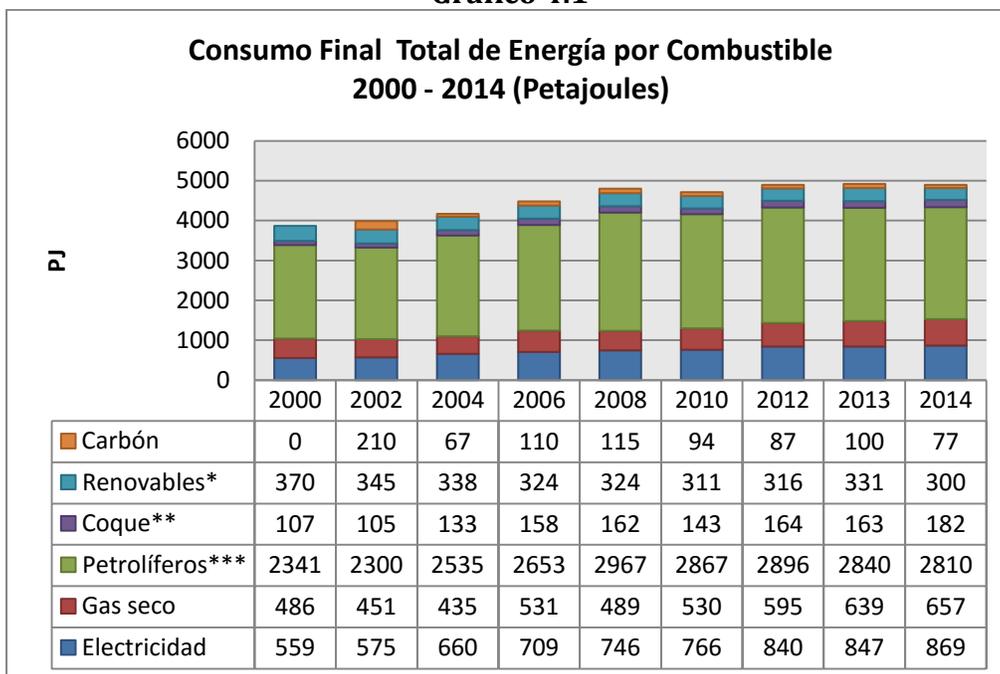
| Tipo de energía | 2000 | 2006 | 2008 | 2010 | 2012 | 2013 | 2014 |
|----------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Carbón y coque de carbón | 274.27 | 515.51 | 423.16 | 533.23 | 537.36 | 533.62 | 533.92 |
| Crudo y petrolíferos | 3,490.96 | 3,668.06 | 4,016.43 | 3,662.06 | 3,954.80 | 3,892.10 | 3,505.06 |
| Gas natural y condensados | 2213.70 | 3154.68 | 3154.16 | 3390.10 | 3626.06 | 3782.52 | 3843.61 |
| Nuclear | 90.33 | 119.42 | 106.64 | 63.94 | 91.32 | 122.60 | 100.60 |
| Total Renovables | 493.97 | 625.50 | 666.15 | 641.86 | 620.43 | 634.65 | 665.78 |
| Biogas | 0.25 | 0.44 | 0.81 | 1.30 | 1.82 | 1.97 | 1.94 |
| Hidroenergía | 119.07 | 109.50 | 141.10 | 133.67 | 114.78 | 100.81 | 140.01 |
| Geo, eólica y solar | 1.89 | 154.00 | 164.14 | 159.36 | 153.05 | 153.98 | 161.75 |
| Biomasa | 373.02 | 361.56 | 360.09 | 347.54 | 350.78 | 377.89 | 362.08 |
| TOTAL | 6,566.39 | 8,055.72 | 8,337.72 | 8,270.94 | 8,814.70 | 8,944.94 | 8,624.26 |

Fuente: Elaboración propia con datos del Sistema de Información de Energía (SIE).

Así pues, en el Cuadro 4.2 es posible observar la dinámica que ha tenido la oferta interna bruta desde el año 2000, una vez más se observa que el petróleo y sus derivados, así como el gas natural y gas condensado (LP, butano, etc.) se mantienen como principales energéticos en el país, lo cual no es de extrañarse, mientras que las energías renovables y la energía nuclear se mantienen en un rango no mayor a los 700 PJ para la primera y no mayor a 110 PJ para la segunda. La participación de ambos tipos de energía sigue siendo mucho menor en comparación con la de los hidrocarburos hasta la fecha y deja en claro que México es un país petrolarizado.

4.2.2 Consumo final de energía (por fuente y por sector)

Gráfico 4.1



*Incluye a las energías renovables disponibles en México, así como a la biomasa (leña y bagazo de caña).

**Total del consumo de coque: coque de carbón y coque de petróleo.

***Incluye Gas LP, gasolinas y naftas, querosenos, diesel y combustóleo.

Fuente: Elaboración propia con datos del Sistema de Información de Energía (SIE).

También conocido como consumo final total, es la suma del consumo no energético total y el consumo energético total, este incluye la energía y la materia prima que se destinan a los distintos sectores de la economía para su consumo.

El consumo final total por fuente de energía puede verse en el Gráfico 4.1, donde se observa el consumo final total por energético a partir del año 2000 al 2014. A lo largo de estos 14 años, los energéticos derivados del petróleo han sido los más consumidos, después la electricidad, las energías renovables y el carbón.

Ahora bien, de toda la energía producida ¿dónde se encuentra su mayor consumo? El desarrollo del sector energético está íntimamente ligado con el crecimiento económico y social en el país, ya que la energía es insumo en todos los sectores de la economía, por ejemplo: para el transporte de personas y mercancías, la producción de manufacturas y el funcionamiento de establecimientos comerciales, de servicios, fábricas y hogares.

Es por eso que el consumo final total también considera a los siguientes dos tipos de consumo:

- **No energético:** Registra el consumo de energía primaria y secundaria como materia prima.
- **Energético:** Son los combustibles primarios y secundarios utilizados para satisfacer las necesidades de energía de los sectores transporte, industrial, residencial, comercial, público y agropecuario.

A su vez, el sector transporte se divide en: autotransporte, aéreo, marítimo, ferroviario y eléctrico. El consumo del sector industrial comprende el consumo de energía de los procesos productivos en las ramas más intensivas en uso de energía y únicamente se contabiliza el consumo de productos energéticos para su uso final sin transformación a otros productos y no se incluye el consumo para transporte (ya que este se contabiliza en el sector transporte) ni el consumo para generación de electricidad. El sector público incluye el consumo de energía para alumbrado público, bombeo de agua potable y aguas negras y consumo eléctrico en sus instalaciones.

De acuerdo a datos de los Balances Nacionales de Energía de la SENER, de 2009 y 2011, el sector transporte tenía el mayor consumo de energía, seguido del sector industrial y el residencial/comercial/público.

De acuerdo al Balance Nacional de Energía⁸⁸ del 2014, el sector residencial en conjunto con el comercial y público tuvo un consumo final total de energía del 18.8 %. Además, el consumo de energía en el sector residencial en el mismo año aumentó en 1.5 % respecto a 2013, totalizando 754.14 PJ. Esto se debió principalmente al aumento en el consumo de gas seco en los hogares, que pasó de 33.80 PJ en 2013 a 39.86 PJ en 2014. Asimismo, durante este año se observó una disminución de 0.5 % en el consumo de leña en hogares debido al incremento en el uso de gas seco, electricidad y uso directo de la energía solar en zonas urbanas del país.

Cuadro 4.3
Consumo Final Total de Energía por Sector 2000 - 2014
(Petajoules)

| Sector | 2000 | 2002 | 2004 | 2006 | 2008 | 2010 | 2012 | 2013 | 2014 |
|--------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Residencial | 731 | 720 | 739 | 733 | 764 | 765 | 758 | 743 | 754 |
| Comercial | 115 | 122 | 119 | 124 | 126 | 126 | 133 | 133 | 135 |
| Público | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 28 | 30 | 33 | 32 |
| Transporte | 1,611 | 1,643 | 1,855 | 2,023 | 2,302 | 2,244 | 2,299 | 2,261 | 2,246 |
| Agropecuario | 115 | 102 | 109 | 127 | 151 | 146 | 159 | 159 | 159 |
| Industrial | 1,270 | 1,378 | 1,324 | 1,455 | 1,434 | 1,403 | 1,520 | 1,590 | 1,568 |
| Total Anual | 3,864 | 3,987 | 4,168 | 4,485 | 4,802 | 4,712 | 4,898 | 4,920 | 4,896 |

Todos los datos han sido redondeados por lo que la suma del total puede no coincidir.
Fuente: Elaboración propia con datos del Sistema de Información de Energía (SIE).

⁸⁸ Es un documento realizado por la SENER que presenta las estadísticas energéticas a nivel nacional sobre el origen y destino de las fuentes primarias y secundarias de energía para un periodo determinado. Uno de sus principales objetivos es ofrecer información útil y comparable a nivel nacional e internacional para el análisis del desempeño del sector energético y el diseño, formulación e implantación de políticas públicas en la materia. También proporciona herramientas que permiten medir los impactos ambientales asociados a la generación y consumo de energía como monitorear el mejor aprovechamiento de la misma para garantizar la competitividad del sector y el desarrollo sustentable, sobre todo, considerando que el sector energético es el mayor contribuyente de GEI de nuestro país.

4.3 La electricidad en México en el Siglo XXI

Cuando se habla del sector energético en México, la electricidad es pieza clave para el desarrollo del país, por lo que es preciso mencionar al Sistema Eléctrico Nacional (SEN), el cual se encuentra dividido en tres sistemas eléctricos definidos por su conectividad eléctrica:

- 1) **Sistema Interconectado Nacional (SIN)** - Está categorizado en regiones: Central, Oriental, Occidental, Noroeste, Norte, Noreste y Peninsular. Estas regiones se encuentran interconectadas y pueden transferir energía a cualquier parte del país.
- 2) **Sistema Baja California (SBCN)** - Ubicado en el estado de Baja California, está conectado con el sistema eléctrico de Estados Unidos y puede comprarle o venderle energía. El mayor ejemplo es Cerro Prieto, que parte de sus excedentes de energía eléctrica son exportados a EU.
- 3) **Sistema Baja California Sur (SBCS)**: ubicado en el estado de Baja California Sur, no tiene enlace con ningún otro sistema eléctrico.

Mapa 4.1 - Principales Plantas del SEN



Fuente: Centro Nacional de Control de Energía (CENACE).

En estos tres sistemas eléctricos se encuentran plantas de cogeneración y autoabastecimiento, tanto de energías convencionales como de energías renovables; todas encargadas de satisfacer las necesidades energéticas eléctricas de los distintos sectores económicos y sociales del país. Ahora bien, para la generación de electricidad ¿cuánto se consume de ellas? En el cuadro 4.4 se observa la evolución de este consumo.

Uno de los casos más sobresalientes y que se ha mencionado con anterioridad es el de la energía geotérmica, en el año 2000 se consumieron 0 PJ mientras que en el 2014 fueron 130 PJ para la producción de electricidad. Este dato demuestra el crecimiento y desarrollo que ha tenido este tipo de energía a lo largo de 14 años y que además ha colocado a México como líder productor de energía geotérmica a nivel mundial.

Cuadro 4.4

| Consumo de energía para la generación de Electricidad en el Sistema Eléctrico Nacional, 2000 - 2014 (Petajoules) | | | | | | | | | |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Tipo de Energía | 2000 | 2002 | 2004 | 2006 | 2008 | 2010 | 2012 | 2013 | 2014 |
| Carbón mineral | 183 | 237 | 250 | 346 | 237 | 346 | 359 | 340 | 359 |
| Nucleoenergía | 90 | 107 | 101 | 119 | 107 | 64 | 91 | 123 | 101 |
| Hidroenergía | 119 | 90 | 91 | 110 | 141 | 134 | 115 | 101 | 140 |
| Geotermia | 0 | 0 | 149 | 151 | 160 | 150 | 133 | 131 | 130 |
| Eólica, solar y biogas | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 | 6 | 15 | 17 | 26 |
| Diesel | 25 | 16 | 21 | 17 | 15 | 18 | 32 | 28 | 18 |
| Combustóleo | 955 | 798 | 628 | 469 | 431 | 372 | 463 | 415 | 260 |
| Gas natural | 358 | 532 | 716 | 906 | 1,017 | 1,123 | 1,216 | 1,304 | 1,342 |
| Bagazo de caña | 7 | 8 | 22 | 38 | 39 | 41 | 41 | 54 | 70 |
| Coque de petróleo | 0 | 0 | 26 | 31 | 31 | 35 | 38 | 36 | 39 |
| Gas licuado | 0 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 5 |
| Otros | 0 | 0 | 9 | 6 | 7 | 8 | 8 | 5 | 7 |
| Total | 1,737 | 1,789 | 2,013 | 2,197 | 2,187 | 2,297 | 2,513 | 2,554 | 2,495 |

Todas las cifras han sido redondeadas por lo que la suma del total puede no coincidir.

Fuente: Elaboración propia con datos del Sistema de Información de Energía (SIE).

También se encuentran los casos de los hidrocarburos, lo cuales han tenido cambios notables, tal es el caso del gas natural, pues en el año 2000 el consumo era de 358 PJ y en 2014 fue de 948 PJ, es decir, 73.32 % más que en 2000. Otro energético que tuvo un

aumento en su consumo para producir electricidad fue el carbón, pues pasó de los 183 PJ en el año 2000 a 359 PJ para 2014, o sea, 49.03 % más que en el año base de estudio. Asimismo, es preciso mencionar que el diesel es el segundo energético menos usado para la generación de energía eléctrica, además, su consumo disminuyó en un 4.5 % a 2014 y con respecto al año 2000. Mientras que, la energía nuclear no ha tenido un gran avance, pues solo tuvo un aumento del 9.91 % de 2000 a 2014

Hasta 2012, México producía 48 TWh de electricidad a base de combustibles fósiles. A la fecha, de acuerdo con algunos datos del Centro Nacional de Control de Energía (CENACE), entre los estados que producen más energía se encuentran Chiapas y Oaxaca por generación hidroeléctrica y eólica; la zona Noreste con generación de ciclos combinados y carbón; y Veracruz con generación de ciclos combinados y nucleoelectrónica.

Ahora bien, de esta energía eléctrica producida, la mayor demanda y/o consumo se encuentra en la región Centro (Ciudad de México y Estado de México) por carga residencial y Monterrey y Guadalajara por carga industrial. Como se observa en el cuadro 4.5, el mayor consumo de electricidad se encuentra en los sectores de la industria, residencia y comercio, mientras que el sector transporte ha mantenido un consumo de electricidad constantes desde 2000, sin rebasar los 150 GWh, debido a que en su mayoría, los medios de transporte funcionan a partir de derivados de petróleo (gasolinas y gas), con excepción metro, el trolebús y los auto eléctricos e híbridos.

Cuadro 4.5
Consumo de Electricidad por Sector
2000 - 2014
(GWh)

| Sector | 2000 | 2002 | 2004 | 2006 | 2008 | 2010 | 2012 | 2013 | 2014 |
|---------------------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Residencial | 36,128 | 39,032 | 40,733 | 44,452 | 47,451 | 49,407 | 52,771 | 53,094 | 54,617 |
| Comercial | 11,691 | 12,547 | 12,987 | 13,263 | 13,750 | 13,140 | 14,078 | 13,911 | 14,136 |
| Público | 5,873 | 6,057 | 6,288 | 6,596 | 7,074 | 7,723 | 8,388 | 9,285 | 8,998 |
| Agropecuario | 7,901 | 7,216 | 6,969 | 7,960 | 8,110 | 8,601 | 10,821 | 10,286 | 10,033 |
| Transporte | 1,100 | 1,130 | 1,092 | 1,089 | 1,111 | 1,191 | 1,130 | 1,174 | 1,145 |
| Industria | 92,655 | 93,812 | 115,162 | 123,619 | 129,740 | 132,712 | 146,119 | 147,390 | 152,326 |

Fuente: Elaboración propia con datos del Sistema de Información de Energía (SIE).

4.4 Eficiencia y ahorro: Aliados de la sustentabilidad energética

La eficiencia energética es la reducción del consumo de energía manteniendo los mismos servicios energéticos, sin disminuir nuestro confort y calidad de vida; esto es protegiendo el medio ambiente, asegurando el abastecimiento y fomentando un comportamiento sustentable en su uso (Calles, 2012).

En México, la eficiencia energética comenzó a tomar impulso a partir de la primera crisis petrolera de 1973, ya que se tomó conciencia sobre la alta dependencia que se tenía del petróleo para cubrir dichas necesidades cotidianas, y si este escaseaba sería sumamente difícil cubrir dichas necesidades. A partir de ahí, en todo el país se comenzaron a formar ofertas educativas, recursos humanos, consultores, asociaciones, empresas y entidades federales en torno al tema de eficiencia energética; sin embargo, aún no es suficiente para que tenga éxito, la eficiencia energética debe fomentarse como una cultura general.

Actualmente podemos encontrar productos regulados por su bajo consumo energético; sin embargo, el desconocimiento del tema, y en algunos casos los altos costos de las tecnologías impiden que los usuarios adquieran dichos productos, a pesar de sus beneficios a largo plazo.

En la actualidad se necesita hacer uso de los avances tecnológicos de acuerdo con nuestras necesidades, lo que contribuye al uso eficiente de la energía. Muchos países desarrollados han hecho grandes inversiones en innovación y desarrollo tecnológico en temas de eficiencia energética, mismas que han dado como resultado en tecnologías de bajo consumo energético como: focos ahorradores, diodos emisores de luz o LEDs, procesadores de bajo consumo y motores de alto rendimiento y bajo consumo energético.

El éxito de las energías renovables depende del desarrollo tecnológico en torno a la eficiencia energética debido a que se tendrán equipos que consumirán menos cantidad de energía y esta puede ser abastecida por las energías renovables. Asimismo, la eficiencia energética se puede aplicar en distintos lugares y sectores económicos, además de que representa un ahorro considerable en el pago del servicio eléctrico.

4.4.1 Eficiencia residencial o del hogar

En casa se consume energía, básicamente en formas de combustibles para cocinar alimentos y calentar agua, mientras que la iluminación, calefacción y/o aire acondicionado, la conservación de alimentos y el uso de electrodomésticos en general, se consume energía eléctrica. Por eso, para hacer un uso eficiente de la energía en casa, es necesario:

- ✓ Tener instalaciones eléctricas en buen estado y con buena conexión (enchufes, cableado, fusibles, interruptores, apagadores, etc.).
- ✓ Conocer los equipos que se utilizan y evaluar cuánta energía consumen en un periodo determinado.
- ✓ Usar agua caliente para uso exclusivo de la higiene personal.
- ✓ Al cocinar, tapan ollas y sartenes para acelerar el proceso de cocción de los alimentos, y centrar muy bien en la flama para que el calor se distribuya más uniformemente
- ✓ No hacer uso de sistemas de calefacción o aire acondicionado a menos que sea necesario
- ✓ *Refrigeradores:* Se debe considerar que trabajan todo el tiempo, por lo que su consumo energético es mayor; razón por la que se debe mantener alejado de la estufa u horno, el termostato tiene que estar entre los 5 y 7 °C, evitar que acumule hielo o escarcha, y mantener limpia y ventilada la parte trasera del electrodoméstico. *Televisión:* cuando no se esté usando el equipo, apagarlo completamente y no dejar en modo *stand by*, pues puede llegar a consumir hasta 15 % de su consumo en operación. *Lavadora:* es necesario conocer su nivel de consumo energético y su eficiencia energética.
- ✓ Tratar de aprovechar lo más que se pueda la luz natural.

4.4.2 Eficiencia en edificios

Los edificios contribuyen a un consumo energético considerable debido a sus diseños para brindar confort por medio del uso masivo de aire acondicionado e iluminación artificial. A continuación se presentan algunas recomendaciones para el ahorro de energía en edificios:

- ✓ Apagar la luz cuando no se necesite.
- ✓ Desconectar aparatos eléctricos que no sean de uso frecuente.
- ✓ Usar elevador solo cuando se necesite subir 3 o más pisos.
- ✓ Sustituir equipo eléctrico obsoleto de trabajo.
- ✓ Desarrollar campañas en pro de la cultura de la eficiencia energética.

Afortunadamente, con el avance tecnológico y la inclusión de la ingeniería y arquitectura sustentables, en los últimos años, las instalaciones eléctricas de los edificios se han vuelto más eficientes, además de que algunos ya hacen uso de las energías renovables para satisfacer su demanda energética.

4.4.3 Eficiencia en el transporte

Uno de los sectores que más contribuyen a la contaminación y emisión de GEI en México y el mundo, es el transporte. Los gases contaminantes que genera el transporte al consumir combustibles fósiles, tienen consecuencias negativas tanto en la salud como en el deterioro del planeta. El sector transporte tiene una gran importancia energética porque consumió 43.8 % de la energía que se produjo en el país hasta 2014; por lo tanto, es necesario conocer sus deficiencias para encontrar las oportunidades de hacer un uso más eficiente que permita ahorrar dinero y reducir el impacto ambiental.

En México, hasta 2014, el autotransporte consumió el 91.3 % de la energía de uso final del sector, es preciso mencionar que en su mayoría, el consumo depende de las características del parque vehicular, como: edad del vehículo (esto puede reducir la eficiencia del motor), congestión vehicular (en zonas urbanas, existe mayor consumo de gasolinas y mayor afluencia de tráfico).

También se puede mencionar que los factores involucrados para mejorar o empeorar la eficiencia energética en el transporte son tantos, como los intereses involucrados. Las acciones que pueden implementarse para hacer más eficiente el consumo de energía en el sector transporte son:

- ***Transporte particular:*** Implementar campañas de eficiencia a través de los medios de comunicación, culturizar y promover normas y regulaciones eficientes.
- ***Transporte privado y mercantil:*** Regulación de su movilidad, incentivar la circulación nocturna, profesionalizar al personal operativo, mejorar la competitividad aprovechando al máximo los combustibles, lo cual reduce los costos de operación.

Para llevar a cabo lo anterior, es necesario definir líneas de acciones claras y transparentes que se enfoquen en: automóviles particulares, empresas de autotransporte y flota industrial, transporte urbano y suburbano, flotas de la administración pública y el transporte multimodal. Llevar a cabo acciones específicas, lograría el aprovechamiento máximo del combustible por lo que habría una disminución en el consumo del mismo.

En México, el principal observador y la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) es un órgano administrativo desconcentrado de la SENER, la cual reemplaza a la CONAE el 28 de noviembre de 2008, a partir de la entrada en vigor de la Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía. La CONUEE es la encargada de promover el óptimo aprovechamiento sustentable de la energía a través de mejores prácticas de eficiencia energética en los diferentes sectores de la economía y la población. Corresponde a la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía:

- Promover el uso óptimo de la energía, desde su explotación hasta su consumo y proponer a la SENER las Metas de Eficiencia Energética y los mecanismos para su cumplimiento.
- Elaborar y proponer, a la SENER, la Estrategia Nacional de Energía y el PRONASE.
- Formula y emite metodologías y procedimientos para cuantificar los energéticos por tipo y uso final, y determinar las dimensiones y el valor económico del consumo y el de la infraestructura de explotación, producción, transformación y distribución evitadas que se deriven de las acciones de aprovechamiento sustentable de la energía.

- Preparar y publicar libros, catálogos, manuales, artículos e informes técnicos sobre los trabajos que realice en las materias de su competencia; además de participar en la difusión de la información entre los sectores productivos, gubernamentales y sociales.
- Expedir y verificar disposiciones administrativas de carácter general en materia de Eficiencia Energética y de las actividades que incluyen el aprovechamiento sustentable de la energía, de conformidad con las disposiciones aplicables.
- Promover la investigación científica y tecnológica en materia de Aprovechamiento sustentable de la energía en coordinación con el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, en el ámbito de sus respectivas competencias;
- Preparar y publicar libros, catálogos, manuales, artículos e informes técnicos sobre los trabajos que realice en las materias de su competencia.
- Proponer los criterios para determinar que un usuario cuenta con un patrón de alto consumo de energía e identificar las mejores prácticas internacionales en cuanto a programas y proyectos de eficiencia energética y promover, cuando así se considere, su implementación en el territorio nacional.

Además, la CONUEE tiene programas para el uso eficiente de la energía:

- **Programas sectoriales:** Dirigidos a la administración pública federal, estados y municipios, empresas energéticas, grandes consumidores (gran industria), PyMES y hogares.
- **Programas transversales:** Promover la normalización, es decir, la emisión de Normas Oficiales Mexicanas (NOM) de Eficiencia Energética, implementa una estrategia enfocada al desarrollo y certificación de capacidades de personas y/o instituciones con actividades relacionados con el aprovechamiento sustentable de la energía. Ofrece asistencia técnica, capacitación e información que permitan implementar acciones para hacer un uso inteligente de la energía en el transporte en todos los sectores.

Cuadro 4.6

| Ahorro de Energía por Normas (NOM)** 2000 - 2015 | | |
|---|--|--|
| Año | Ahorro de Energía Eléctrica (GWh) | Ahorro de Energía Térmica (TJ*) |
| 2000 | 6,740 | 15,699 |
| 2001 | 7,763 | 19,930 |
| 2002 | 9,120 | 24,900 |
| 2003 | 10,800 | 16,930 |
| 2004 | 12,490 | 20,211 |
| 2005 | 14,250 | 23,691 |
| 2006 | 16,065 | 3,064 |
| 2007 | 17,963 | 30,954 |
| 2008 | 15,776 | 35,160 |
| 2009-2015 | N/D | N/D |

*TJ: Terajoule (10^{12})

**El ahorro se encuentra en edificios (comerciales, públicos y residenciales), así como casas habitación que decidieron adoptar estas normas.

Fuente: Elaboración propia con datos de la CONUEE.

Estas NOM, van desde las características del equipo eléctrico y térmico hasta el acondicionamiento de ambiente, el cual puede representar hasta el 50% de consumo energético, dependiendo, en parte, de las condiciones climáticas regionales, por lo que también existen normas de eficiencia energética para este tipo de equipos. De esta manera y gracias a la aplicación de estas normas, se han obtenido resultados de ahorro en el consumo de energía eléctrica y térmica, en el cuadro 4.x se observa los resultados en el ahorro energético que si bien no son cifras estratosféricas, representan la funcionalidad de estas normas si son correctamente aplicadas.

- **Programas y acciones de soporte:** Promueve y difunde información energética. El más significativo es el PRONASE.

Otro órgano sumamente importante para el impulso de la eficiencia energética en México es el Fideicomiso para el Ahorro de Energía (FIDE), el cual es un fideicomiso privado, sin fines de lucro, constituido el 14 de agosto de 1990, por iniciativa de la

Comisión Federal de Electricidad (CFE), en apoyo al Programa de Ahorro de Energía Eléctrica; para coadyuvar en las acciones de ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica.

El principal objetivo del FIDE es realizar acciones que permitan inducir y promover el ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica en industrias, comercios y servicios, PyMES, municipios, sector residencial y agrícola. El FIDE presta servicios de asistencia técnica a los consumidores, para mejorar la productividad, contribuir al desarrollo económico, social y a la preservación del medio ambiente⁸⁹. Además de promover proyectos que permitan la vinculación entre la innovación tecnológica y el consumo de energía eléctrica, mediante la aplicación de tecnologías eficientes. Actualmente el FIDE tiene varios programas de apoyo para la eficiencia energética y dos revistas de difusión de información:

→ **Ahórrate una luz:** Es un programa nacional de sustitución de lámparas incandescentes por fluorescentes en localidades menores a 100 habitantes. En 2015, el FIDE entregó 15.9 millones de focos ahorradores que sustituyen a los focos incandescentes aquellas poblaciones.

Figura 4.1

¿SABÍAS QUE?

1 FOCO AHORRADOR CONSUME **75% MENOS ENERGÍA** Y DURA HASTA **10 VECES MÁS QUE UN FOCO INCANDESCENTE**

PARTICIPAR EN EL PROGRAMA AHÓRRATE UNA LUZ ES GRATIS

EL CAMBIO A FOCOS AHORRADORES ES PARTE DE LA TENDENCIA INTERNACIONAL

SOMOS MÁS EFICIENTES CON LA NORMA NOM-028-ENER-2010

CONSEJOS PARA EL USO DE TUS FOCOS

- 1 EVITA ENCENDER FOCOS EN HABITACIONES ILUMINADAS POR EL SOL
- 2 SI NO HAY NADIE EN EL CUARTO APAGA LA LUZ
- 3 PINTA DE COLORES CLAROS LAS PAREDES Y TECHOS, ASÍ SE ILUMINARÁN NATURALMENTE LOS ESPACIOS

ESPECIFICACIONES DE LOS FOCOS AHORRADORES:

TENSIÓN ELÉCTRICA DE ENTRADA: 108-139.7 V
INTENSIDAD DE CORRIENTE ELÉCTRICA: 170-210 MA
FRECUENCIA: 60 HZ

POTENCIA ELÉCTRICA: 13 Y 14 W
TEMPERATURA DE COLOR: 4,100 °K
VIDA ÚTIL: 10,000 HORAS
GARANTÍA: 2 AÑOS

EL CAMBIO NOS BENEFICIA A TODOS

Fuente: www.ahorrateunaluz.org.mx

⁸⁹ www.fide.org.mx

Figura 4.2



Nom-028-Ener-2010: Eficiencia energética de lámparas para uso general. Límites y métodos de prueba. Fuente: www.ahorratuneluz.org.mx

- **Eco-Crédito Empresarial⁹⁰**: Las micro, pequeñas y medianas empresas son la columna vertebral de la economía mexicana por su gran impacto en la generación de empleos y la producción a nivel nacional. De acuerdo con datos del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) el 99.8% de las unidades empresariales en México son MiPyMes, las cuales generan el 58 % del PIB y 73 % de los empleos en el país. Por esta razón, es que Eco-Crédito Empresarial financia a las MiPyMes que deseen reducir su facturación eléctrica a través de la adquisición de tecnologías eficientes para así bajar sus costos de operación y obtener beneficios económicos significativos. Aunado a esto, distintas instituciones están facultadas para coordinar y supervisar el cumplimiento del Eco-Crédito, entre ellas están: SENER, Secretaría de Economía (SE), CFE y Nacional Financiera (NAFIN).
- **Red Conocer de prestadores de servicios – Entidad de Certificación y Evaluación**: El FIDE está autorizado para capacitar, evaluar y certificar competencias laborales en materia de eficiencia energética y generación de energías limpias. La certificación de las competencias laborales es un proceso para demostrar que una persona cuenta con los

⁹⁰ Toda la información obtenida del video: *Eco Crédito Empresarial VL*. YouTube. 2015

conocimientos, habilidades y destrezas necesarias para realizar alguna actividad laboral. La certificación es una oportunidad para contar con un documento reconocido.

→ **Revistas para la difusión de información:** Eficiencia Energética - Revista del Fideicomiso para el Ahorro de Energía, y Evolución y Energía.

Desafortunadamente, todos estos programas no han tenido suficiente difusión informativa y es poca la población que tiene conocimiento sobre ellos y los puede aprovechar, por eso es sumamente importante hacer campañas informativas más grandes y que lleguen a todos los estados del país y sus comunidades.

La eficiencia energética puede considerarse como un recurso energético doméstico. En todos los países, hay un enorme potencial para mejorar el consumo de energía, además, la mejora de la eficiencia energética es una estrategia de “ganar-ganar”: reduce la cuenta a pagar, reduce las emisiones de GEI y es de un 25 a 50 % más barato para producir la cantidad de energía que se necesita. Además, la eficiencia energética no va en contra del confort, la seguridad, la productividad, la economía ni la calidad del servicio.

¿Y qué pasa con el ahorro energético? Pues bien, el ahorro energético está íntimamente ligado a la eficiencia energética y en algunos términos y contextos, serían lo mismo.

Figura 4.3



Fuente: www.cfe.gob.mx

Existen dos vías para ahorrar energía:

1. Por la vía de las mejoras en la operación, desde hábitos de uso hasta sistemas de gestión de la energía.
2. Por la vía de la inversión en materiales, equipos y/o sistemas, es decir, medidas tecnológicas y de infraestructura.

Y ¿qué motiva a un individuo a ahorrar energía? Las razones son muchas:

- ✓ Cumplir con mandatos legales.
- ✓ Mejorar la imagen de un negocio “soy verde”
- ✓ Estar en armonía con el ambiente.
- ✓ Pagar menos por la energía que se consume.

4.5 La satisfacción del uso de la energía

En el capítulo anterior se habló en términos de cifras y cuál ha sido el desarrollo y alcance de las energías renovables a través de la historia y su mayor impacto en los últimos 15 años, pero socialmente qué significa. Ya se habló de la energía primaria, la energía secundaria y del uso final de la energía. Es momento de ver a la energía desde su uso social.

Más allá de la parte técnica, hay que analizar si el uso de la energía ha satisfecho adecuadamente una necesidad. Por lo tanto, se tiene a la faceta del uso social de los recursos energéticos. Por ejemplo, podemos circular con un coche que técnicamente cumpla con los mejores requerimientos en lo que se refiere al consumo energético y la gestión ambiental, pero, en cambio, puede tener un rendimiento social mucho más elevado un autobús más contaminante y energéticamente menos eficiente (Riba; Sans y Torrents. 2013).

Esta faceta social se tiene en poca consideración. La explicación es simple: ¿por qué tendríamos que preocuparnos por la rentabilidad social de la energía si tenemos electricidad apretando un botón, agua al abrir una llave y calor activando un termostato de calefacción doméstica. De una u otra forma, este factor se volverá relevante conforme los recursos se

vayan agotando y se volverá determinante para poder aplicar un criterio de gestión eficiente para el aprovechamiento de los recursos existentes (Riba; Sans y Torrents. 2013).

En la actualidad, cuando hablamos de energía, el mundo se limita a buscar soluciones inmediatas para generar más energía, sin darse cuenta que los problemas principales son el agotamiento de los combustibles fósiles y cómo afecta el uso de los mismos al ambiente, desde el cambio climático hasta la destrucción de los ecosistemas. Si la rentabilidad social marcara las políticas económicas y energéticas, la extinción de los recursos energéticos pasaría a ser el primer punto de la agenda política de todas las naciones, y por supuesto, también de la de México; por encima de cómo se puede generar más energía para mantener el crecimiento económico mundial.

4.6 Energía, ambiente y cambio climático en México

La Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) señala que “así como ocurre en todos lugares, el rápido desarrollo económico y la industrialización han tenido un inmenso impacto sobre la gente y el ambiente. La quema de petróleo y otros combustibles fósiles son responsables de la contaminación local del aire, el suelo y el agua, tiene efectos adversos sobre los ecosistemas y la salud humana y es un gran contribuyente en el cambio climático global⁹¹”. Además, el rápido crecimiento urbano ha llevado a un aumento en la contaminación local del aire, particularmente en los grandes centros urbanos.

La mayoría de los estudios referentes al cambio climático y sus consecuencias, demuestran que los países en desarrollo pueden ser las primeras víctimas del cambio climático a través de los distintos fenómenos naturales como la erosión de la tierra, inundaciones, sequías, tormentas, etc. Además, la dependencia de estos países a la agricultura, le hace más difícil su adaptación a este panorama climático⁹².

⁹¹ CEPAL. *La Economía del Cambio Climático*. Documento. Ciudad de México. Julio, 2011. [Consulta: Marzo de 2016]

⁹² Chavelier Jean-Marie and Ouédraogo Nadia S. *Energy Poverty and Economic Development. The new Energy Crisis*. 2013

Esto nos lleva a considerar la vulnerabilidad de México ante fenómenos naturales que, aunque son comunes para el país, su fuerza ha ido en aumento. Los fenómenos más específicos son: inundaciones, sequías, olas de calor de alta intensidad, huracanes, tormentas tropicales, modificación de las estaciones del año y aumento del nivel el mar.

El Banco Mundial considera a México un país de alta vulnerabilidad ante cualquiera de estos fenómenos naturales debido a su ubicación geográfica, pues como bien se sabe, el país se encuentra en medio de grandes zonas marítimas (Océano Pacífico, Golfo de México y el Mar del Caribe). Todos estos fenómenos han tenido y seguirán teniendo consecuencias muy grandes, desde pérdidas materiales hasta pérdidas humanas que provocan un gasto específico y poco predecible para los gobiernos.

**Mapa 4.2 - Vulnerabilidad Climática en México
Casos por Zona Geográfica**



Fuente: Elaboración propia en modificación de imagen.
Imagen extraída de semarnat.gob.mx

→ **Aumento de la desertificación:** Muchas regiones del norte del país se están convirtiendo en terrenos estériles, lo que significa desecamiento de ríos, muerte de especies animales y vegetales e impacto en los mantos freáticos. Lo que implica también, la escasez y desabasto de alimentos.

- ➔ **Aumento de la temperatura:** En la Ciudad de México, en los últimos años, la temperatura se ha incrementado casi 4°C⁹³.

- ➔ **Cambios en la lluvia:** Los cambios en las épocas de lluvia van en aumento y son más intensas, mientras que en otras, la lluvia ha dejado de tener una fuerte presencia. También se presentan fuertes lluvias acompañadas de granizo, las cuales en zonas rurales, pueden afectar

- ➔ **Adelanto en las épocas de calor:** En las regiones del norte del país las épocas de calor inician más temprano y terminan más tarde, comparadas con años anteriores.

- ➔ **Pérdida de bosques:** Se ha acelerado la pérdida de bosques y vegetación en nuestro país, si bien la deforestación y la tala indiscriminada de los bosques es factor para el cambio climático, los incendios forestales también se asocian con el aumento de la temperatura.

- ➔ **Desaparición de los glaciares:** Los glaciares más importantes de México, ubicados en los volcanes Pico de Orizaba, Popocatepetl e Iztaccíhuatl, están disminuyendo su extensión alarmantemente.

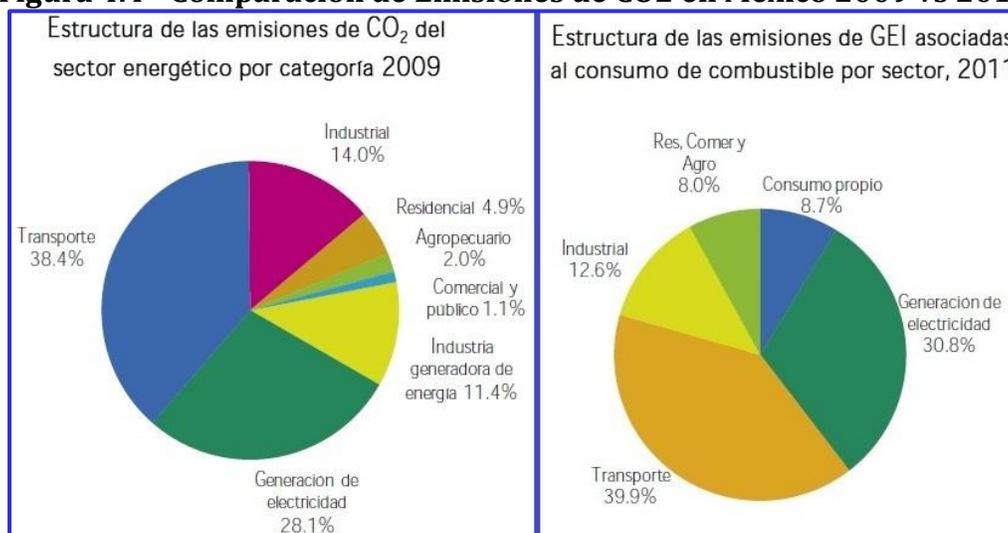
- ➔ **Aparición de enfermedades:** En algunas regiones del país han aparecido enfermedades atípicas para las mismas. Uno de los casos más extraños se presentó en Chihuahua, donde han aparecido casos de dengue⁹⁴.

Para México, nada de esto es nuevo, como vimos en un principio, el transporte, la gran industria y la generación de electricidad son los mayores consumidores de energía, lo que los coloca como los principales emisores de GEI debido al alto uso de combustibles fósiles, además de que para 2015, el país se encontró en el puesto 12 a nivel mundial en emisiones de CO₂.

⁹³ Magaña, Víctor Orlando. *Evidencias del cambio climático en México*. Todos por un México sustentable.

⁹⁴ Notired, 7 de mayo de 2013.

Figura 4.4 - Comparación de Emisiones de CO₂ en México 2009 vs 2011



Fuente: Balance Nacional de Energía 2009 y Balance Nacional de Energía 2011. SENER.

Como se puede afirmar, el cambio climático y sus consecuencias son importantes para la búsqueda de nuevas formas de energía. Como lo explica Perales, “El cambio climático está asociado finalmente, a causas antropogénicas⁹⁵[...] que están afectando la vida de millones de personas. Lo han provocado dos efectos que se intentan frenar poniendo en juego variadas soluciones tecnológicas: el invernadero y el de la capa de ozono, a su efectividad se confía el mantenimiento de nuestras condiciones actuales de bienestar, a lo que llamamos desarrollo sustentable (Perales. 2012)”.

Es un hecho reciente el reconocimiento por parte del gobierno nacional en lo que respecta a la asociación de la energía con problemas ambientales, que afectan directamente a la salud humana y la calidad de vida, pero muy particularmente las de las generaciones futuras. La utilización de combustibles fósiles, ya sea en pequeñas instalaciones distribuidas, como es el caso del transporte, o en grandes instalaciones como las que generan electricidad, lleva asociado un considerable impacto ambiental y también a

⁹⁵ Antropogénico.- Son todos los efectos, procesos o materiales que son el resultado de actividades humanas, como la gran producción de gases invernadero por medio de la gran cantidad de fábricas, autos, etc. A diferencia de los que tienen causas naturales sin influencia humana, es decir, el cambio climático antropogénico son aquellas alteraciones en el clima que surgen a partir del resultado de las actividades del hombre. Think Green (2010). ¿Qué es el cambio climático antropogénico? Medio ambiente: la naturaleza también siente [Blog]. www.greenthinkgreen.blogspot.mx. [Acceso: Marzo de 2016].

propiciar el cambio climático. La pregunta principal ante esta situación es ¿qué ha hecho México para promover el desarrollo sustentable y la mitigación del cambio climático?

Uno de los principales avances y acuerdos mundiales a los que se integra México sucede el 9 de junio de 1998, donde México firma el Protocolo de Kioto. En él se compromete a intentar reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero, aunque no tiene límites establecidos sino los que México se impuso para años venideros: un 50 % de reducción tentativa de emisiones al 2050 respecto al año 2000 pues para el país, la generación de energía junto con el transporte son las principales fuentes de GEI a reducir⁹⁶.

En 2010 cuando se celebró la COP16 en Cancún, México, con 192 firmantes, se lograron mayores acuerdos de alcances más objetivos⁹⁷:

- Formar un fondo verde del clima para el manejo internacional, disposición y contabilización de fondos para los países en desarrollo (propuesto por México).
- Se acuerda un mecanismo tecnológico para llevar tecnologías limpias al lugar correcto y para el mejor funcionamiento
- Se hizo un plan de adaptación para aumentar la cooperación internacional y mejorar el desarrollo de los países en la protección de ellos mismos contra los impactos del cambio climático.
- Se hizo un registro donde los países en desarrollo detallarán sus planes voluntarios para limitar los GEI y cuánto tiempo necesitaban para llegar a sus objetivos.

En noviembre - diciembre de 2015, se realiza la COP21 en París, Francia. Como se vio en el Capítulo 1, México se mueve entre el lugar 12 y 13 como emisor de CO₂, en la actualidad, motivo por el cual, presentó metas concretas a 10, 20 y 40 años para frenar el cambio climático. El compromiso principal de México es la reducción del 22 % de CO₂ y 51 % en carbono negro para el 2030.

Las metas pueden ser más ambiciosas con el programa que lanzaron el Fondo Monetario Nacional y el Banco Mundial a propuesta de México, Chile, Etiopía, Francia,

⁹⁶ Thoma, Ulrich (2013). *De lo Insostenible a lo Sustentable – Propuestas básicas, indicadores y casos de éxito para tomar decisiones sustentables en México.*

⁹⁷ Fuente: UNFCCC

Alemania y Canadá para comercializar el carbono. Inicialmente cuenta con 500 millones de dólares para impulsar la reconversión de la industrial en países emergentes y desarrollo.

Con el apoyo de este programa, México podría reducir sus emisiones de CO₂ en 36 % y 70 % de carbono negro para 2030. Asimismo, nuestro país es una de las pocas naciones que aplican un impuesto al carbono para desincentivar el uso de combustibles fósiles. En la COP21, el presidente Enrique Peña Nieto llamó a los asistentes a adoptar esta medida, declarando que: *“La justificación de establecer un precio real al carbono reducirá su consumo e incentivará a los agentes económicos a procesos más eficientes en canastas de energías limpias y sustentables [...], además nos hemos comprometido a generar el 35 % de energía con fuentes limpias para el año 2024 y el 43 % para el 2030, y contamos ya con la Ley General de Cambio Climático⁹⁸”*.

La Ley de Cambio Climático establece tres ejes importantes: Impulsar una economía sustentable, incrementar la capacidad de adaptación al cambio climático de 320 municipios vulnerables y la inclusión de todos los sectores nacionales para la contribución en la reducción de contaminantes.

Asimismo, como parte de los trabajos que se realizaron en la COP21, México, Francia, EU, Inglaterra, India y 28 empresarios como Bill Gates de Microsoft y Mark Zuckerberg de Facebook, formaron la “Coalición para el Avance Energético”, que es un fondo de 20 mil millones de dólares que se utilizará en la adquisición de nuevas tecnologías para fomentar el uso de energías limpias.

A fin de alcanzar el desarrollo sustentable, la protección del medio ambiente y la mitigación del cambio climático, deberán constituir parte integrante del proceso de desarrollo y no deben considerarse en forma aislada.

⁹⁸ Fuente: Once Noticias. 7 de diciembre de 2015.

4.7 Pobreza Energética: Mexicanos en la oscuridad

Pasemos a otro tema. El objetivo de las energías renovables es sustituir total o parcialmente a las fuentes fósiles de generación eléctrica en el país por otras que disminuyan el impacto ambiental, que sean más eficientes y tengan una mayor disponibilidad a largo plazo, y que puedan garantizar la seguridad energética de los sectores más vulnerables de la población que se encuentran en pobreza y por ende en pobreza energética.

La pobreza energética se puede definir como:

“La ausencia de una oferta energética suficiente que permita el acceso a la energía adecuada, asequible, fiable, eficiente y sustentable en términos ambientales para apoyar el desarrollo económico y humano⁹⁹”.

Así pues, el acceso a la electricidad es un pre-requisito para el desarrollo económico y social, lo cual guiará a un país hacia la sustentabilidad.

De acuerdo con el Banco Mundial, hasta 2013 el 1 % del total de la población nacional no tenía acceso a la energía eléctrica y si lo tienen, no es de calidad, la SENER reitera este dato. Teniendo en cuenta que la población nacional asciende a 119,530,753 de habitantes, significa que aproximadamente 1,075,776 (+,-) de personas no cuentan con un servicio eléctrico y en el caso de que así sea, este es deficiente, dicho de otra manera, se encuentran en pobreza energética.

Para reafirmar lo anterior, de acuerdo con datos del Sistema de Información de Energía (SIE) de la SENER, los estados con mayor pobreza energética son: Chiapas, Guerrero, Hidalgo, Oaxaca, Michoacán, Jalisco, Nuevo León, Veracruz, Nayarit, Estado de México, Guanajuato, Baja California, Zacatecas, Sonora, Chihuahua, Yucatán y Tamaulipas; y es importante señalar que algunos de estos estados presentan altos índices de pobreza.

Chavelier y Ouédraogo señalan que la pobreza energética y la pobreza en general son más altas en zonas rurales que en zonas urbanas pero esto puede cambiar. En América

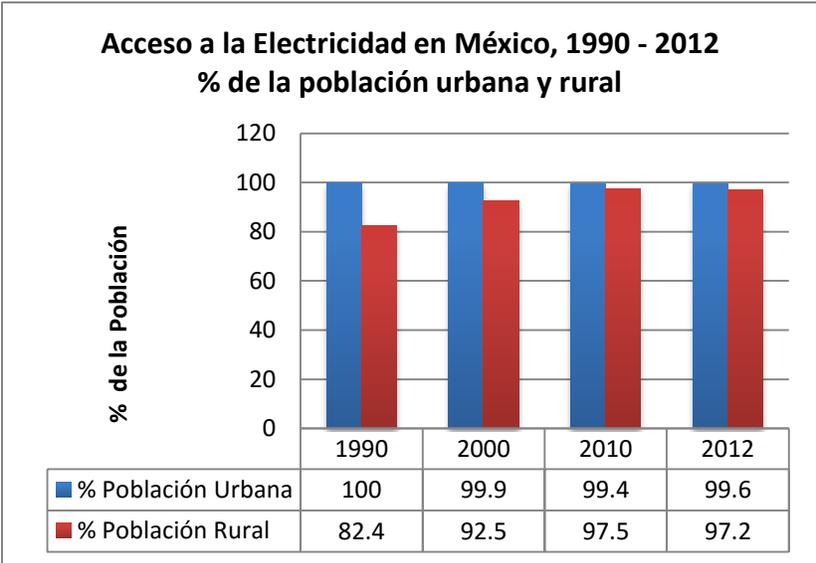
⁹⁹ Reddy, A. K. N. *Energy and Social Issues*. 2000. Pág. 40.

Latina, donde la urbanización ha sido muy rápida, una considerable cantidad de la población que vive en pobreza ahora se encuentra en áreas urbanas. La urbanización aumenta la demanda de energía, lo que incrementa la necesidad de productos derivados de los hidrocarburos.

En ese contexto, la Ciudad de México también presenta pobreza energética, como es el caso de las siguientes alcaldías: Álvaro Obregón, Tlalpan, Xochimilco, Cuajimalpa e Iztapalapa, en las cuales se encuentran zonas con altos niveles de marginación debido a que sus niveles de urbanización han ido en aumento en los últimos años, lo que genera un aumento en la demanda de energía y a su vez genera una situación insostenible económica y socialmente, pues también llegan a carecer de otros servicios básicos como el agua.

En el Gráfico 4.2, se puede observar la diferencia del acceso de electricidad entre la población urbana y rural, aunque la diferencia del acceso a la electricidad entre ambas poblaciones no es grande, no se ha alcanzado el 100 % al acceso a la electricidad para ambas poblaciones.

Gráfico 4.2



Fuente: Elaboración propia con datos del Banco Mundial.

Además, de acuerdo a datos del Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL), en 2012, la pobreza en las localidades urbanas afectaba a 36.6 millones de personas. Esta situación implicó que del total de personas en situación de pobreza en el país (53.3 millones), poco más de dos terceras partes se localizan en zonas urbanas, es decir, 68.6 %. Sin embargo, la población en pobreza extrema en localidades rurales (5.8 millones) fue ligeramente mayor que en localidades urbanas (5.7 millones).

Uno de los cambios estructurales en el SEN iniciados con la Reforma Energética, en 2015, es que la electricidad llegó a los hogares de 22,253 personas en distintas partes del país.

Una de las principales razones para que exista esta pobreza energética, es el difícil acceso a estas comunidades debido a las condiciones geográficas - para ser más precisos, la topografía de estas zonas-, las cuales limitan el acceso de la infraestructura energética, y en el caso de llevar a cabo su electrificación, se enfrenta a un aumento en los costos de construcción (materiales, transporte y mano de obra).

Otro problema es que la disposición a pagar por el consumo de electricidad es generalmente más alta que el costo marginal de largo plazo de la oferta, pues ahí se encuentra el problema de pago por la infraestructura de conexión, la cual a veces tiene que extenderse durante un largo período. Esto significa que, en muchos programas de electrificación rural, el acceso a la electricidad no se lleva a los más pobres (Chevalier y Ouédraogo, 2013).

La pobreza energética está siempre asociada con la pobreza económica es por eso que las energías renovables se levantan como una opción viable social, económica y ambientalmente posible para erradicar la pobreza. Este tipo de energías le daría la oportunidad de mejorar la calidad de vida y el entorno de esas 2,390,616 personas que se encuentran en pobreza energética.

4.8 Sustentabilidad Energética: Energía para todos

El concepto de desarrollo sustentable como tal comenzó a tomar importancia en México hasta finales de la década de los 80's, gracias al trabajo realizado por grupos de investigación que lo impulsaron y la postura oficial de cumplir con acuerdos internacionales que proponían su implementación, transitando de esta forma hacia una etapa de creación de dependencias y leyes orientadas a la sustentabilidad a nivel nacional.

Aunado a ello y de manera sincrónica, los aspectos sociales se han deteriorado notablemente desde la implementación del modelo económico de apertura internacional y la emergencia de la política neoliberal a partir de 1982. Este deterioro se ha manifestado principalmente en el debilitamiento del empleo formal y del poder adquisitivo de los salarios, en la pérdida de calidad de los servicios de salud y educación, así como en el aumento en el costo de la vivienda. Por ende, establecer el concepto de desarrollo sustentable y todo lo que conlleva en México puede ser complicado debido a que es un país con altos niveles de desigualdad y en distintos aspectos, desde educativa hasta económica.

La relación cuantitativa entre el consumo de energía y el crecimiento económico es un debate de importancia pero cualitativamente el rol de las energías renovables en el desarrollo económico de México es el siguiente: Hoy en día ¿quién puede imaginar su vida sin electricidad? Los que viven en las ciudades mexicanas entienden perfectamente que cuando “se va la luz” la vida se pone en pausa.

La electricidad, y la energía por sí misma, son indispensables para la vida moderna, los empleos, la salud y la seguridad dependen de que haya luz, pero en un mundo donde los problemas ambientales, sociales y económicos se han vuelto más relevantes, las energías renovables surgen como opciones viables para guiar al país hacia la sustentabilidad.

- **Reducen riesgos**

Las energías y los sistemas convencionales tienen riesgos asociados. Estos se pueden relacionar con volatilidad de precios, inestabilidad económica y socio-política, seguridad, desarrollo y fracaso técnico. México, aun siendo productor de petróleo, importa combustibles derivados del mismo, por lo que está expuesto a la volatilidad del mercado

petrolero. El riesgo de la volatilidad del precio para las macroeconomías es considerable y puede desestabilizar regiones completas. En la realidad, no existen razones para creer que las perspectivas de volatilidades más bajas en los precios del petróleo y gas sean favorables. Por lo tanto, los países en desarrollo que producen energías secundarias a través de energías renovables, están mejor protegidos.

- **Establecen las bases para nuevas actividades productivas, incentivan la inversión y generan empleos**

Los insumos energéticos como la electricidad y los combustibles modernos son esenciales para generar empleos, actividades industriales, mejorar el transporte, el comercio, las pequeñas y medianas empresas y la producción agrícola.

El ejemplo más claro son las PyMes, antes del *boom* comercial de las energías renovables y la preocupación ante el cambio climático, se sabe que los principales impulsores del mercado energético renovable eran en su mayoría PyMes, las cuales se dedican principalmente a la venta e instalación de paneles solares a pequeña escala y de calentadores solares, además de impulsar la innovación de tecnologías. Con el tiempo, muchas de estas PyMes fueron absorbidas por empresas de alto prestigio en el mundo energético y otras más, se mantuvieron y crecieron, consolidándose como grandes empresas de energías “verdes”.

Cuadro 4.7

| Generación de Empleos Verdes en el Sector Energético | | |
|---|--------------------------|----------|
| Año | Número de Empleos | % |
| 2013 | 2,396 | 0.34 |
| 2014 | 2,403 | 0.31 |

Fuente: Elaboración propia con datos del Sistema de Información Energética (SIE).

Por lo anterior, en México, ante la búsqueda por un futuro más sustentable, se han impulsado los llamados “empleos verdes”, los cuales tienen el propósito de vincular la creciente oferta y demanda de profesionales especializados en temas de medio ambiente, sustentabilidad y energías renovables y limpias dentro del sector energético. De acuerdo

con datos del Sistema de Información de Energía, desde la promulgación de la Reforma Energética en 2013, se han contabilizado un total de 4,799 empleos verdes dentro del sector energético hasta 2014.

Se espera que en un futuro cercano, la tecnología y la innovación sigan creciendo, y al mismo tiempo los costos de inversión tenderán a disminuir, con lo que se generará un alto número de empleos referentes a las energías renovables.

- **Impulsan la educación en zonas marginadas**

Para atraer a los maestros a zonas rurales, la electricidad es fundamental, tanto en escuelas como en los hogares. Muchos estudios han comprobado que los niños que cuentan con electricidad en sus hogares tienen mayor nivel educativo que aquellos que viven sin electricidad; si un niño cuenta con luz eléctrica, entonces tiene la oportunidad de pasar más tiempo estudiando (en casa y en la escuela) y tendrá acceso a la información (especialmente a través de internet). Los sistemas fotovoltaicos y plantas eléctricas de generación distribuida¹⁰⁰ pueden cubrir las necesidades de energía eléctrica de pequeñas comunidades rurales, sus escuelas, comercios y hogares.

- **Promueven la equidad de género y empoderan a la mujer**

La falta de acceso a combustibles modernos y electricidad contribuye a la inequidad de género. En las zonas rurales de México, las mujeres son responsables de las actividades del hogar y muchas de ellas caminan grandes distancias para conseguir leña, la cual usan como combustible. Estas actividades toman tiempo que se puede invertir en otras actividades como la educación y participación social.

El acceso a energías renovables como los biocombustibles y sistemas fotovoltaicos, así como la implementación de estufas ecológicas que consumen menos leña que un

¹⁰⁰ **Generación distribuida:** es la generación de energía por unidades de pequeña capacidad y cercanas a los centros de demanda. Sus características generales son: unidades de generación con menos de 10 MW, estabiliza los perfiles de carga, disminuye las pérdidas de transmisión, descentraliza y flexibiliza la producción, distribución y consumo de energía, además, fomenta el uso de fuentes renovables y cogeneración. Fuente: Presentación del Dr. Pablo Álvarez Watkins para el VIII Seminario sobre situación y perspectiva del sector eléctrico en México.

sistema de cocción tradicional, facilita a las mujeres realizar el trabajo doméstico diario en menor tiempo, además de incluir a las mujeres en la lucha contra el cambio climático.

- **Ayudan a reducir la mortalidad**

Las enfermedades causadas por el agua sin hervir y enfermedades respiratorias causadas por la contaminación del aire a partir de combustibles tradicionales o la quema de leña, contribuyen directamente a enfermedades respiratorias como asma, cáncer pulmonar y EPOC¹⁰¹.

- **Mejoran el sistema de salud**

La falta de electricidad en los centros de salud alrededor del país es algo común. La electricidad es indispensable para el funcionamiento de sistemas de refrigeración para la conservación de vacunas y otros insumos, equipo de esterilización y equipo médico que requiera energía. En México se han hecho públicos casos donde la falta de energía y las malas instalaciones eléctricas provocan la falla de equipo médico para atender a pacientes en estado de emergencia. Doctores y enfermeras(os) requieren de electricidad y sus derivados para realizar un trabajo de calidad.

- **Impulsan la sustentabilidad ambiental**

En México, la degradación ambiental y del agotamiento de los recursos naturales ha sido creciente, específicamente con la producción de energía derivada de hidrocarburos, su distribución y consumo tienen muchos efectos negativos en el medio ambiente local,

¹⁰¹ **Enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC)** se caracteriza por un bloqueo persistente del flujo de aire. Se trata de una enfermedad subdiagnosticada y potencialmente mortal que altera la respiración normal. Los términos bronquitis crónica y enfisema quedan englobados en EPOC. Los síntomas más frecuentes son la disnea (falta de aire), la expectoración anormal y la tos crónica. La EPOC no se cura pero existen varios tratamientos que pueden ayudar a controlar sus síntomas y a mejorar la calidad de vida de los pacientes. **Factores de riesgo:** La EPOC es prevenible y aunque su principal causa es el humo del tabaco (fumadores activos y pasivos), otros factores de riesgo son la contaminación del aire de interiores (por ejemplo, la derivada de la utilización de combustibles sólidos en la cocina y la calefacción); la contaminación del aire exterior; la exposición laboral a polvos y productos químicos (vapores, irritantes y gases); las infecciones repetidas de las vías respiratorias inferiores en la infancia. Fuente: Organización Mundial de la Salud (OMS) www.who.int

regional y mundial, estos efectos incluyen la contaminación del aire, la degradación y acidificación de la tierra y el agua, y por supuesto el cambio climático. Las energías renovables son la opción para mitigar a todos estos efectos y direccionar a México hacia un futuro más sustentable con el ambiente.

- **Mejoran los sistemas de telecomunicación**

El internet, el radio, la televisión y la telefonía fija y celular son de suma importancia pues facilitan el acceso a la información. Además, dado que el internet y la telefonía en sus dos modalidades suelen llegar a través de señales satelitales es necesario tener dispositivos para la recepción de dichas señales, los cuales funcionan con energías eléctrica.

4.9 Educación: Investigación y Desarrollo para las Energías Renovables

La educación para la sustentabilidad tiene como objetivo potenciar las capacidades para asegurar el bienestar de los pueblos a nivel, local, nacional y mundial; y más allá de la especie humana, pero ¿cuál es la relevancia de la educación en un mundo que trata de ser más sustentable? La educación es considerada una de las vías esenciales para el desarrollo sustentable y desde la década de los 70's, se ha reconocido su herramienta para transitar hacia la sustentabilidad.

En el Informe Brundtland se menciona a la educación como medio por excelencia para difundir información sobre el estado del ambiente y las acciones necesarias emprender para alcanzar el desarrollo sustentable, en el informe también se menciona que es necesario cambiar valores, actitudes y aspiraciones y para ello la educación, la participación y el debate tienen un rol indispensable.

Otro aspecto en el cual es importante la educación, es en el desarrollo de conocimientos y capacidades técnicas para que las personas puedan manejar mejor sus recursos naturales de manera sustentable. Garantizar el acceso educación, hará que se fortalezcan las motivaciones sociales, culturales y económicas. Finalmente, a través de la educación se puede incentivar la participación y compromiso de la sociedad, ONGs, la

comunidad científica y la industria necesarios para facilitar los cambios económicos y sociales encaminados al bien común y al desarrollo sustentable. La educación es la base sobre la cual las personas construyen sus conocimientos sobre los procesos, problemas y necesidades ambientales de su entorno.

Uno de los mayores problemas que tiene México respecto a las energías renovables es su retraso educativo en desarrollo e investigación en ciencia y tecnología. La investigación y el desarrollo debe de convertirse en un tema de relevancia por la importancia que están ganando las energías renovables y las energías limpias, primero porque concierne a todos los sectores (económico, político y social), y segundo, porque no existe a una política viable en torno a las energías renovables en términos de recursos para la investigación y desarrollo de nuevas formas para producir energías más limpias y con menor costo.

Si se le da la importancia necesaria, esto fomentaría a la creación de un marco jurídico orientado hacia la generación de energías renovables generadas a través de tecnologías exclusivamente mexicanas que se podrían patentar. Si bien, en México la tecnología para la explotación de la energía hidráulica es tecnología nacional, el resto para otras energías renovables es de origen extranjero. Es por eso que el gobierno debe alentar las normas de tecnologías de energía renovable y el etiquetado de equipos eficientes en energía, además de ser guía y ejemplo para la implementación de normas de consumo y eficiencia.

Ahora bien, el desarrollo de las energías renovables ha sido impulsado por las reducciones en los costos de operación y mantenimiento derivados de mejoras tecnológicas. De ahí resulta la importancia de fortalecer a nivel nacional su investigación y desarrollo tecnológico.

Existe una importante red de investigación en materia de energías renovables en México, que incluye instituciones tanto del sector público como privado. Cabe destacar la participación de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y del Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) que han impulsado proyectos que buscan promover y apoyar la innovación tecnológica en el sector eléctrico, así como de sus proveedores y

usuarios, mediante la investigación aplicada, el desarrollo tecnológico y servicios especializados.

La SENER establece los lineamientos de política en materia de investigación en energías renovables. El gobierno de México participa a través de la SENER, la CONAE y el IIE, con organismos internacionales de energía, incluyendo a la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA), la Agencia Internacional de Energía (IEA) y la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE). Instituciones como el CINVESTAV del Instituto Politécnico Nacional, están desarrollando proyectos de investigación referentes a las energías renovables.

Cuadro 4.8

| Investigación y Desarrollo Tecnológico, 2000 - 2015 | | | | | | | | |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Composición y formación de Recursos Humanos* (Número de personas) | | | | | | | | |
| | 2000 | 2001 | 2006 | 2007 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 |
| Personal dedicado a la investigación científica y desarrollo | 6,423 | 7,079 | 6,316 | 6,461 | 6,664 | 6,108 | 5,432 | 5,057 |
| Personal con doctorado | 299 | 336 | 449 | 457 | 481 | 471 | 461 | 471 |
| Personal con maestría | 570 | 703 | 910 | 866 | 894 | 858 | 901 | 886 |
| Personal con licenciatura | 1,994 | 2,678 | 3,522 | 2,968 | 3,410 | 1,933 | 2,399 | 2,074 |
| Personal con reconocimiento en el Sistema Nacional de Investigadores | 192 | 187 | 282 | 274 | 264 | 262 | 266 | 260 |
| Personal con beca para estudios de posgrado | 469 | 398 | 116 | 108 | 109 | 110 | 105 | 98 |
| Personal con beca para estudios de doctorado | 185 | 148 | 77 | 69 | 57 | 61 | 58 | 50 |

*Total de personal de los Institutos de Investigación del Sector Energía: Instituto Mexicano del Petróleo, Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares e Instituto de Investigaciones Eléctricas.
Fuente: Elaboración propia con datos del Sistema de Información Energética (SIE).

Sin embargo, aun con estos esfuerzos, sigue siendo insuficiente; y si México no incentiva la investigación y el desarrollo, el país no tendrá la viabilidad necesaria para una transición energética hacia las energías renovables. También es importante mencionar que para todo esto, se requiere de la inversión. Hay que invertir en educación para formar recursos humanos especialistas en la materia y para crear nuevos centros de investigación

especializados en cada tipo de energía renovable, cuando se habla del gasto en ciencia y tecnología se tienen datos como los del Cuadro 4.9.

Cuadro 4.9
Gasto en Ciencia y Tecnología
2001 - 2012

| Año | Gasto (Millones de pesos corrientes) | | | Porcentaje del PIB | | |
|------|---|-------------------------------------|----------------|--------------------|-------------------------------------|----------------|
| | Sector Público | Instituciones de Educación Superior | Sector Privado | Sector Público | Instituciones de Educación Superior | Sector Privado |
| 2002 | 24,955 | 2,649 | 15,820 | 0.35 | 0.04 | 0.22 |
| 2003 | 29,110 | 4,546 | 21,412 | 0.38 | 0.06 | 0.28 |
| 2004 | 28,558 | 4,918 | 23,648 | 0.33 | 0.06 | 0.27 |
| 2006 | 33,468 | 5,547 | 32,691 | 0.32 | 0.05 | 0.31 |
| 2008 | 43,829 | ND | ND | 0.36 | ND | ND |
| 2010 | 54,436 | ND | ND | 0.41 | ND | ND |
| 2012 | 61,852 | 3,727 | 46,667 | 0.40 | 0.02 | 0.30 |

Fuente: Elaboración propia con datos del Sistema de Información Energética (SIE).

Si bien se puede observar que el sector público es quien más gasta en ciencia y tecnología, ese gasto en su mayoría es para la compra de tecnología extranjera, a diferencia de las instituciones de educación superior o el sector privado, quienes desarrollan su propia tecnología o innovan la tecnología ya establecida para fomentar el uso eficiente de energía.

Algo de gran importancia a considerar es que ante todo esto, la mayor parte de la investigación y desarrollo en energía renovable y no renovable, debe ser dirigido a la eficiencia energética, con un énfasis especial en las oportunidades de salto tecnológico con respecto a la construcción de infraestructura, transporte, generación de energía, edificios, residencias, etc.

Tal como lo expresa la astrónoma e investigadora mexicana Julieta Fierro¹⁰²: “La mejor forma de resolver nuestros problemas cotidianos y evitar la sobreexplotación del planeta es poner la mirada en la innovación y la ciencia básica, sin las cuales son

¹⁰² Investigadora del Instituto de Astronomía y profesora de la Facultad de Ciencias de la UNAM.

imposibles los adelantos tecnológicos. El modelo de saquear a la naturaleza ya no funciona. La atmósfera es lo último que nos queda porque todo (en el planeta) está muy sobreexplotado y la única solución que tenemos es la innovación.”¹⁰³

Se espera que en un futuro cercano, la tecnología y la innovación sigan creciendo, y al mismo tiempo los costos de inversión tenderán a disminuir, con lo que se generará un alto número de empleos referentes a las energías renovables.

¹⁰³ *Investigadora mexicana aboga por innovación para evitar el saqueo del planeta.* www.economiahoy.mx

CAPÍTULO 5

LA NUEVA POLÍTICA ENERGÉTICA: ¿MÉXICO HACIA UN FUTURO SUSTENTABLE?

El desarrollo del sector energético está íntimamente ligado con el crecimiento económico y social en nuestro país, ya que la energía es insumo de gran impacto en todos los sectores de la economía, por ejemplo: para el transporte de personas y mercancías, la producción de manufacturas y el funcionamiento de establecimientos comerciales, de servicios, fábricas y hogares. La importancia que tiene en las finanzas públicas y en el comercio exterior también lo convierte en una instancia estratégica.

La energía mueve al país, pero tomar en cuenta los temas ambientales y sociales que se han mencionado a través de todo este trabajo de investigación también lo son, entonces, ¿qué pasa con el desarrollo sustentable en México?

Dentro de la Constitución Política de la Estados Unidos Mexicanos existen 3 artículos que establecen los lineamientos sobre los cuales se erige a todo el sector energético nacional, desde la inclusión del ambiente, la explotación de recursos energéticos y cómo se ha de regular este sector. Estos artículos son:

“**Artículo 25.** Corresponde al Estado la rectoría del desarrollo nacional para garantizar que este sea integral y sustentable, que fortalezca la Soberanía de la Nación y su régimen democrático y que, mediante la competitividad, el fomento del crecimiento económico y el empleo y una más justa distribución del ingreso y la riqueza, permita el pleno ejercicio de la libertad y la dignidad de los individuos, grupos y clases sociales, cuya seguridad protege esta Constitución. La competitividad se entenderá como el conjunto de condiciones necesarias para generar un mayor crecimiento económico, promoviendo la inversión y la generación de empleo. *Párrafo reformado DOF 28-06-1999, 05-06-2013.*”¹⁰⁴

“**Artículo 27, Párrafos 7 y 8.** Tratándose del petróleo y de los hidrocarburos sólidos, líquidos o gaseosos, en el subsuelo, la propiedad de la Nación es inalienable e

¹⁰⁴ Fuente: www.diputados.gob.mx

imprescriptible y no se otorgarán concesiones. Con el propósito de obtener ingresos para el Estado que contribuyan al desarrollo de largo plazo de la Nación, esta llevará a cabo las actividades de exploración y extracción del petróleo y demás hidrocarburos mediante asignaciones a empresas productivas del Estado o a través de contratos con estas o con particulares, en los términos de la Ley Reglamentaria. Para cumplir con el objeto de dichas asignaciones o contratos las empresas productivas del Estado podrán contratar con particulares. En cualquier caso, los hidrocarburos en el subsuelo son propiedad de la Nación y así deberá afirmarse en las asignaciones o contratos. *Párrafo adicionado DOF 20-12-2013*

Corresponde también a la Nación el aprovechamiento de los combustibles nucleares para la generación de energía nuclear y la regulación de sus aplicaciones en otros propósitos. El uso de la energía nuclear solo podrá tener fines pacíficos. *Párrafo adicionado DOF 29-12-1960. Fe de erratas al párrafo DOF 07-01-1961. Reformado DOF 06-02-1975.*¹⁰⁵

“**Artículo 28.** El Poder Ejecutivo contará con los órganos reguladores coordinados en materia energética, denominados Comisión Nacional de Hidrocarburos y Comisión Reguladora de Energía, en los términos que determine la ley. *Párrafo adicionado DOF 20-12-2013.*”¹⁰⁶

Ahora bien, ¿qué pasa con la Reforma Energética? Desde una perspectiva muy personal, esta Reforma llegó tarde para México, con argumentos confusos y como una medida desesperada por parte del gobierno ante la crisis petrolera en la cual se encuentra el país. No es más que un esfuerzo por mantener la seguridad petrolera de México, es por eso que cuando se habla de energía y sustentabilidad, la Reforma Energética explica lo siguiente¹⁰⁷:

¹⁰⁵ Fuente: www.diputados.gob.mx

¹⁰⁶ Fuente: www.diputados.gob.mx

¹⁰⁷ El siguiente texto fue directamente extraído de: SEGOB. *Reforma Energética*. Resumen. PDF. [Fecha de Consulta: Mayo, 2016].

VI. Seguridad, sustentabilidad, compromiso con el medio ambiente, uso de tecnologías y combustibles más limpios.

- **Diagnóstico**

Uno de los mayores retos que enfrenta el desarrollo de la industria energética nacional, particularmente en el sector hidrocarburos, es el que la exploración y extracción, refinación, transporte, almacenamiento y distribución de petróleo, gas y sus derivados, se realicen de manera compatible con el cuidado y la protección del medio ambiente.

Por su parte, en la industria eléctrica, la generación con energías limpias en muchos casos no es la opción más sencilla para el desarrollo de nuevos proyectos. Los recursos de alto potencial frecuentemente se encuentran en áreas retiradas del país que requieren grandes obras de transmisión para interconectarse, mientras las tecnologías limpias presentan riesgos y retos de desarrollo y operación.

El Estado tiene el deber de garantizar el derecho constitucional a un medio ambiente sano. Para ello debe tomar medidas para impedir el deterioro ambiental, así como para sancionar a quien provoque daños al medio ambiente y para obtener la reparación de los mismos.

Se deben adoptar medidas para evitar que el mayor desarrollo en el sector hidrocarburos propicie el deterioro de las condiciones medioambientales. A la vez, se debe impulsar el uso de energías limpias en el sector eléctrico, a fin de reducir el impacto en la generación eléctrica.

Por otro lado, existe un reto en el sector energético por garantizar la seguridad de las personas e instalaciones. Las actividades relacionadas con los hidrocarburos generan riesgos a la seguridad industrial y operativa que deben ser identificados, medidos y mitigados.

- **La Reforma Energética¹⁰⁸**

Se eleva a rango constitucional a la sustentabilidad como uno de los criterios bajo los cuales se apoyará e impulsará a las empresas de los sectores social y privado. Se adiciona la promoción de la competitividad e implementación de una política nacional para el desarrollo industrial sustentable.

Con la reforma se impulsa el desarrollo sustentable y el cuidado del medio ambiente. El Congreso de la Unión deberá modificar el marco legal que rige a las actividades del sector hidrocarburos.

Las nuevas leyes deberán definir el papel de participantes públicos y privados en temas como la eficiencia en el uso de energía y recursos naturales, la disminución en la generación de gases y compuestos de efecto invernadero, la disminución en la generación de residuos, emisiones y de la huella de carbono en todos sus procesos.²⁰ En el sector eléctrico, se establecerán obligaciones para el uso de energías limpias y la reducción de emisiones contaminantes, permitiendo que las metas del sector se cumplan en tiempo y forma.

Asimismo, bajo la premisa de que es posible mitigar los efectos negativos que la producción y el consumo de energías fósiles puedan tener sobre la salud y el medio ambiente, mediante la mayor disponibilidad de fuentes de energía más limpias, el Ejecutivo Federal incluirá en el Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía las condiciones de operación y financiamiento aplicables para promover el uso de tecnologías y combustibles más limpios.

En esta misma línea, se emitirá una ley para regular el reconocimiento, la exploración y la explotación de recursos geotérmicos para el aprovechamiento de la energía del subsuelo dentro de los límites del territorio nacional, con el fin de generar energía eléctrica o destinarla a usos diversos.

¹⁰⁸ Este texto fue directamente extraído de: SEGOB. *Reforma Energética*. Resumen. PDF. [Fecha de Consulta: Mayo, 2016].

Se establecerán políticas públicas concretas para propiciar la generación de energía a partir de fuentes renovables, con el propósito de impulsar la transición energética hacia fuentes renovables.

Se dotará al Estado de los instrumentos adecuados para impedir que el desarrollo de la industria en condiciones económicas competitivas se convierta en un factor de deterioro medioambiental. El criterio de sustentabilidad debe traducirse en acciones y medidas concretas que impidan que la persecución de objetivos económicos se traduzca en un descuido de las condiciones ecológicas.¹⁰⁹

Se ha visto el objetivo principal de la Reforma Energética en temas de energías renovables, y protección al ambiente pero algo realmente notable respecto a todo lo anterior es lo confusa que es la Reforma Energética respecto a ciertos temas como los siguientes:

- No establece un límite máximo de las centrales de ningún tipo.
- No parece que exista un mecanismo para el crecimiento de las fuentes de energía renovable.
- Legislativamente no hay un concepto claro de “desarrollo sustentable”.
- Cómo se involucrarán los factores del desarrollo sustentable en el nuevo esquema energético.
- Cuál es el papel real de las instituciones reguladoras de energía para conseguir el desarrollo sustentable
- Cuando toca el tema de las energías renovables, realmente no lo hace, pues no incluye a las energías renovables, sino a las energías limpias, lo cual puede traducirse en una confusión terminológica.
- Los hidrocarburos siguen siendo el tema principal pero no se explica cómo se hará uso de ellos de manera sustentable.

Y también existen factores que no contempla explícitamente:

¹⁰⁹ En este párrafo termina el texto extraído del Resumen de la Reforma Energética.

- No considera a la ingeniería ni a la técnica como parte de la creación de un nuevo sistema eléctrico.
- Cómo ejercer el derecho a la energía y convertirlo en un derecho humano necesario para asegurar el desarrollo económico.
- La diversificación energética y el acceso a fuentes no convencionales de energía debería ser un punto prioritario en la Reforma.
- La inseguridad, impunidad, corrupción y la poca transparencia de las instituciones en México como elementos que frenan el desarrollo sustentable.
- El daño ambiental, social y de salud que implica el *fracking*.

El último punto es de alta relevancia debido a los daños que puede ocasionar. El *fracking* es algo sumamente delicado pues corresponde a una técnica que consiste en perforar a más de 2,500 metros de profundidad, inyectando sustancias químicas a altas presiones en el subsuelo, fracturando las estructuras rocosas para liberar y extraer hidrocarburos. Se debe entender que este procedimiento de extracción no es exclusivo para de hidrocarburos, sino que también se aplica a la extracción de energía geotérmica, lo cual pone en tela de juicio la viabilidad ambiental de esta energía renovable.

Por lo anterior, es necesario entender que para establecer la prioridad del desarrollo sustentable se requieren cambios institucionales en diferentes planos que permitan operar y concretar con eficiencia las decisiones de política energética para que vayan más allá de las jurisdicciones secretariales, es decir, estos cambios deben ser incluyentes para todos los sectores sociales y económicos del país, así como a los tres órdenes de gobierno.

Desafortunadamente, la poca claridad que tiene la Reforma Energética en el tema de energías renovables y/o limpias es confuso, debido a que el *modus operandi* oportunista de las estructuras gubernamentales para la formulación de políticas públicas sigue predominando y resulta inadecuado para inducir el tránsito al desarrollo sustentable, ya que reproduce una dinámica institucional que no favorece la información al público, la transparencia de la gestión y la rendición de cuentas, así como la participación efectiva de los agentes interesados y la definición de metas viables calendarizadas sujetas a escrutinio y el cumplimiento de la normativa y de las políticas.

5.1 Ley de Transición Energética

Con el fin de impulsar la Reforma Energética y reforzarla en sus distintas facetas, el Poder Ejecutivo envió al Congreso de la Unión las iniciativas que comprenden la propuesta de legislación secundaria en materia energética. Consta de 21 leyes, agrupadas en 9 bloques. Se trata de 9 leyes nuevas y 12 que van a sufrir modificaciones. Haciendo énfasis en energías renovables y ambiente tenemos a la Ley de Transición Energética

El 24 de diciembre de 2015, se publicó en el Diario Oficial de la Federación el Decreto por el que se expide la Ley de Transición Energética, misma que tiene por objeto regular el aprovechamiento sustentable de la energía así como las obligaciones en materia de Energías Limpias y de reducción de emisiones contaminantes de la Industria Eléctrica, manteniendo la competitividad de los sectores productivos.

Esta Ley es de orden público e interés social, de observancia general en los Estados Unidos Mexicanos y reglamentaria de los párrafos 6 y 8 del artículo 25 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, así como de los transitorios Décimo Séptimo y Décimo Octavo del Decreto por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en Materia de Energía, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 20 de diciembre de 2013.

Se abrogan la Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía, la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética, y las demás disposiciones que se opongan al presente ordenamiento. Las referencias hechas a la Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía y a la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética en otros ordenamientos jurídicos deberán entenderse como realizadas a la Ley materia de este Decreto.

Como parte del impulso del sector energético a través de energías renovables y limpias, el 11 de noviembre de 2015, la SENER realiza la primera subasta energética, poniendo en renta certificados de energías limpias para 20 años y certificados de potencia y energía eléctrica para 15 años. En esta subasta, la CFE se coloca como el primer comprador de certificados de potencia y energía, sin embargo, solo puede adquirir de 4 a 6

millones de certificados, pues el objetivo principal de la SENER es hacer que la CFE tenga dos tipos de participación: como generador (competidor con empresas privadas) y como suministrador de energía eléctrica.

5.2 El antes y el después de la Reforma Energética

Aun con la reciente aprobación de la Reforma Energética y sus leyes secundarias, principalmente la Ley de Transición Energética (LTE), el patrón energético del país seguirá basado en combustibles fósiles, el petróleo en primera instancia, y se espera que para 2030, el 35 % de la energía producida en el país sea a partir de energías renovables, lo que significa que el 65 % de la producción energética seguirá siendo por hidrocarburos.

El desarrollo del sector energético y eléctrico del país puede explicarse por la relación que existe entre el PIB y la intensidad energética, el cual es un indicador que mide la cantidad de energía requerida para producir un peso del PIB; y que se mide dividiendo el consumo total de energía primaria entre el PIB, todo para un periodo determinado, motivo por el cual, un aumento en el PIB representaría un aumento en el consumo de energía.

Cuadro 5.1

| Indicadores Económicos y Energéticos Nacionales 2000 - 2014 | | | | | | | | | | |
|--|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Descripción | Cantidad / Unidad | 2000 | 2002 | 2004 | 2006 | 2008 | 2010 | 2012 | 2013 | 2014 |
| Consumo nacional de energía | PJ | 6,567 | 6,721 | 7,347 | 8,056 | 8,338 | 8,271 | 8,815 | 8,945 | 8,624 |
| PIB nacional | Miles de millones de \$ a 2008 ¹ | 10,289 | 10,240 | 10,832 | 11,719 | 12,257 | 12,278 | 13,288 | 13,472 | 13,760 |
| Población nacional | Millones de habitantes ² | 101 | 103 | 106 | 108 | 111 | 114 | 117 | 118 | 120 |
| Intensidad energética | KJ/\$ producido | 638 | 656 | 678 | 687 | 680 | 674 | 663 | 664 | 627 |
| Consumo per cápita de energía | GJ/hab | 65 | 65 | 69 | 74 | 75 | 72 | 75 | 76 | 72 |
| Consumo de electricidad | GWh | 155,349 | 159,794 | 183,231 | 196,978 | 207,236 | 212,774 | 233,306 | 235,141 | 241,256 |
| Consumo de electricidad per cápita | kWh/hab | 1,540 | 1,545 | 1,729 | 1,817 | 1,862 | 1,862 | 1,993 | 1,986 | 2,015 |
| Producción | PJ | 9,355 | 9,470 | 10,460 | 10,550 | 9,966 | 9,318 | 9,059 | 9,020 | 8,826 |
| Oferta interna bruta | PJ | 6,567 | 6,721 | 7,347 | 8,056 | 8,338 | 8,271 | 8,815 | 8,945 | 8,624 |
| Relación producción/oferta interna bruta | Núm. | 1.425 | 1.409 | 1.424 | 1.310 | 1.195 | 1.127 | 1.028 | 1.008 | 1.023 |

¹ INEGI: Sistema de Cuentas Nacionales.

² Con información de la CONAPO.

Fuente: Elaboración propia con datos del Sistema de Información de Energía (SIE).

Distintos estudios, incluyendo aquellos hechos por la SENER, han expuesto que el crecimiento en el consumo de energía está íntimamente ligado con el crecimiento económico. En el Cuadro 5.1 se puede observar el desarrollo energético y económico que ha tenido México de 2000 a 2014, a través de distintos indicadores y variables como el crecimiento de la población.

En el año 2000, el consumo nacional de energía incluye que a todos los sectores económicos (residencial, público, industrial, agrario, transporte) y fue de 6,567 PJ, para 2014 este consumo aumentó en 2,057 PJ. Mientras que la población mexicana creció 1.1 % entre 2013 y 2014, al pasar de 118.40 a 119.71 millones de habitantes, el consumo nacional de energía decreció a un ritmo de 3.6%. Por otro lado, en el año 2014, el consumo de energía per cápita en México fue de 72 GJ, mientras que el consumo de electricidad per cápita fue de 2,015 KWh/habitante, es decir, 7 GJ y 775 KWh/habitante más que en 2000.

En los últimos diez años, el consumo de energía *per cápita* creció 0.4 % en promedio cada año esto debido al uso de nuevas tecnologías - como telefonía móvil, tabletas electrónicas, computadoras portátiles, etc., las cuales necesitan recargar constantemente las baterías con las que funcionan -; dentro de este aumento en el consumo energético, también se considera el aumento en el parque vehicular, pues gracias a las facilidades de compra que otorga la industria automotriz, la población tiene mayores posibilidades de adquirir un auto particular, lo que resulta en un mayor consumo de gasolinas.

Por lo anterior, el crecimiento económico medido en función del PIB, tiene una estrecha relación con la cantidad de energía que demanda el país. Además, es de reiterarse que la demanda de energía se relaciona con el crecimiento de la población; si la población crece, también lo hará el consumo de energía.

Con la crisis de 2009, hubo una afectación importante en la actividad económica y productiva del país, sin embargo, esto no fue impedimento para que el PIB nacional tuviera un ligero, casi mínimo crecimiento. A partir de 2011 comenzó el declive de los precios del petróleo en el mercado mundial, lo cual ha dado como resultado las grandes pérdidas económicas por la baja en los precios de la mezcla mexicana y que hasta el momento

continúa a pesar del considerable aumento en las inversiones en el sector petrolero, lo que condujo a la pérdida de competitividad del petróleo nacional en el mercado internacional.

En materia de gas natural, la demanda de las plantas generadoras y la industria se incrementó. La falta de infraestructura para transportar este insumo desde Estados Unidos al interior de la República, provocó que en 2012 el Sistema Nacional de Gasoductos sobrepasara su capacidad de operación y se emitieran “alertas críticas” para racionalizar su consumo, provocando importantes pérdidas económicas y un considerable incremento en los costos de generación eléctrica. Esto se puede observar en el Cuadro 4. , en 2012, la participación en el PIB de la generación, transmisión y distribución de electricidad cayó en 25,956 millones de pesos en comparación a 2010 y 48,258 millones de pesos en comparación con 2015.

5.2.1 Tarifas

Hablando específicamente de la energía eléctrica, la tarifa final que pagan los consumidores está compuesta por la suma de las tarifas de generación, transmisión, distribución y comercialización de la electricidad, la combinación de estas cuatro debe de dar como resultado la tarifa final, además de tener una participación activa en el PIB nacional como se observa en el Cuadro 5.2, donde también se observa que en 2012, su participación en el PIB cayó en 25,956 millones de pesos en comparación a 2010 y 48,258 millones de pesos en comparación con 2015.

Cuadro 5.2

| PIB*: Generación, transmisión y distribución de electricidad, 2000 - 2015 | | | |
|--|------------|-------------|------------|
| Año | PIB | Año | PIB |
| 2000 | 93,141 | 2010 | 214,281 |
| 2002 | 115,291 | 2012 | 188,325 |
| 2004 | 152,332 | 2014 | 258,454 |
| 2006 | 175,603 | 2015 | 236,583 |
| 2008 | 216,101 | | |

*Año base: 2008. Millones de pesos a precios corrientes.

Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI.

Asimismo, el esquema actual de tarifas es poco claro con respecto al mismo y en cualquier sector económico, realmente no se especifica de cuál es el precio por cada concepto y donde se incluyen a los subsidios.

En electricidad, los altos costos del servicio y la falta de infraestructura contribuyeron a limitar el crecimiento de la economía. De acuerdo a la SENER, en 2013, las tarifas fueron en promedio 25 % superiores en comparación con las de Estados Unidos, y 73 % más altas si consideramos los subsidios que otorga el gobierno. Esto lo podemos observar en el Cuadro 5.3, el cual nos señala la evolución en los precios de la electricidad por sector y se encuentra un aumento considerable en los precios en el año 2012 en comparación con años anteriores o los años posteriores a la implementación de la Reforma Energética.

Cuadro 5.3

| Precios de la Energía Eléctrica por Sector*, 2002 - 2015 (Centavos por KWh) | | | | | | |
|--|--------------------|------------------|------------------|-----------------|------------------------|-----------------------|
| Año | Sector | | | | | |
| | Residencial | Servicios | Comercial | Agrícola | Mediana Empresa | Gran Industria |
| 2000 | 55.90 | 126.03 | 104.68 | 28.68 | 61.20 | 43.37 |
| 2002 | 77.50 | 125.20 | 137.19 | 32.82 | 69.64 | 48.07 |
| 2004 | 88.90 | 140.92 | 186.01 | 39.79 | 97.45 | 70.96 |
| 2006 | 99.27 | 157.05 | 231.14 | 45.33 | 119.19 | 88.62 |
| 2008 | 107.13 | 172.13 | 254.76 | 52.24 | 152.48 | 119.10 |
| 2010 | 113.27 | 186.11 | 256.91 | 49.18 | 143.29 | 110.02 |
| 2012 | 118.61 | 208.22 | 291.27 | 58.51 | 165.00 | 127.52 |
| 2013 | 116.02 | 225.90 | 294.60 | 53.66 | 168.56 | 132.14 |
| 2014 | 119.85 | 235.69 | 303.58 | 48.75 | 174.56 | 138.13 |
| 2015 | 119.58 | 251.60 | 280.16 | 56.28 | 141.76 | 106.18 |

*Los precios han sido redondeados.

Fuente: Elaboración propia con datos del Sistema de Información de Energética (SIE) con información de CFE, incluye información de la extinta LyFC.

Con la aprobación de la Ley de Transición Energética, se espera una disminución en las tarifas de energía eléctrica, la pregunta es ¿será esto posible? Existen dos enfoques poco optimistas cuando se habla de tarifas eléctricas.

El primer enfoque, de acuerdo a declaraciones de Adrián Escofet, presidente de la AMDEE, la LTE tendrá como efecto un aumento en las tarifas, especialmente para el sector industrial y que a su vez tendrá que aumentar sus costos de operación entre 1 y 4 %, pero esto dependerá en gran medida de la eficiencia energética, pues si las tarifas no bajan, el consumo lo hará gracias a la eficiencia por lo que no será un costo excesivo.

El segundo enfoque, lo tienen la industria química y acerera, ya que uno de los puntos principales de la LTE es que la industria reduzca las emisiones de carbono mediante el uso de energías renovables, de lo contrario, las empresas tendrán que pagar para emitir certificados de emisión o hacerse acreedores a multas. De acuerdo a la Cámara Nacional del Hierro y el Acero (CANACERO), considera que la aprobación de la LTE en los términos bajo los cuales fue aprobada, representa un alto riesgo para la competitividad de la industria.

Según la CANACERO, en un criterio que se comparte con la Confederación de Cámaras Industriales de los Estados Unidos Mexicanos (CONCAMIN), el efecto de la LTE implica un aumento importante en los costos de la electricidad. Además, impone compromisos mucho mayores para México a los que toman países como China y EU, que contaminan más y tienen mayores industrias¹¹⁰.

Las penalizaciones a las empresas por incumplir la obligación de consumir energías limpias implicarán multas de entre seis a 50 salarios mínimos (de 26 a 218 dólares) por MWh para aquellos consumidores que no cumplan sus compromisos de adquirir Certificados de Energías Limpias (CEL), según la CANACERO.

Dependiendo del nivel en que se fijen las multas, estas equivalen a un aumento en el costo de la electricidad de entre 9 y 72% sobre las tarifas industriales actuales.

Por tanto, intentar adoptar energías limpias en tan poco tiempo tendría una afectación en la generación de empleos, debido a los costos que deberán asumir las empresas. Además, la ley carece de metas claras para las energías renovables. Así pues, esto último no

¹¹⁰ Carriles, Luis. *Piden acereros diferir metas de la LTE: Los industriales piden establecer crecimiento acorde a la realidad del país*. El Economista. Noviembre, 2015. Pág. 5.

parece un panorama futuro alentador, pero es preciso recordar que esto solo afecta al sector industrial.

5.2.2 Subsidios

Los subsidios a los energéticos como la gasolina, gas LP y electricidad, implican un alto costo para las finanzas públicas. En Latinoamérica, dichos subsidios consumen el 2% de los ingresos gubernamentales (Fondo Monetario Internacional, 2013).

Asimismo, estos subsidios incentivan el consumo energético proveniente de fuentes fósiles y, con ello, incrementan la contaminación y la incidencia de enfermedades respiratorias. Por su parte, la OCDE explica que si dichos subsidios se removieran totalmente para el año 2020, las emisiones de GEI a nivel mundial serían 10 % menores en el año 2050, con respecto al escenario base (OCDE, 2010).

En México, los subsidios se aplican a todos los consumidores: residenciales, comerciales, industriales, agrícolas y de servicios; de acuerdo con la SENER, la parte proporcional de subsidio para cada uno de estos tipos de consumidores es diferente y se tiene que la tarifa residencial y agrícola son las más subsidiadas.

En una estimación, el subsidio a las tarifas eléctricas en México, el sector agrícola recibe entre el 40 y 60 % de subsidio por unidad de consumo, el sector residencial entre el 30 y 50 % de subsidio dependiendo del rango de consumo, la región, el clima, etc., y finalmente viene el subsidio a la industria, que supone casi paga el costo de acuerdo a la CFE y PEMEX.

De hecho, el gasto en subsidios a la electricidad en México se ha incrementando en los últimos siete años. El subsidio a las tarifas eléctricas del año 2013 fue de 117,774 millones de pesos, es decir, 7, 467 millones de pesos más que el año anterior y 61,033 millones de pesos más respecto al año 2000, lo cual se puede apreciar en la el Cuadro 5.4.

Cuadro 5.4

| Subsidios a las Tarifas Energéticas, 2000 - 2014 (Millones de pesos corrientes) | | | | | | | |
|--|---------------------|--------------------------|---------------|-------------|---------------------|--------------------------|---------------|
| Año | Electricidad | Gasolina y Diesel | Gas LP | Año | Electricidad | Gasolina y Diesel | Gas LP |
| 2000 | 56,741 | 0 | ND | 2008 | 148,521 | 223,716 | 26,197 |
| 2001 | 62,175 | 0 | ND | 2009 | 147,555 | 14,618 | 6,479 |
| 2002 | 63,320 | 0 | ND | 2010 | 102,118 | 71,175 | 22,340 |
| 2003 | 75,772 | 0 | 2,559 | 2011 | 101,522 | 147,848 | 35,586 |
| 2004 | 85,269 | 0 | 9,807 | 2012 | 104,307 | 191,585 | 16,564 |
| 2005 | 94,987 | 0 | 5,372 | 2013 | 111,774 | 87,092 | ND |
| 2006 | 96,814 | 46,664 | 5,653 | 2014 | 116,500 | 12,847 | ND |
| 2007 | 105,819 | 51,479 | 10,984 | | | | |

Fuente: Elaboración propia con datos del Sistema de Información de Energética (SIE).

Desafortunadamente, los subsidios energéticos pueden considerarse como subsidios regresivos pues estos no benefician de igual manera a toda la población. Durante los últimos años, el gobierno de México ha destinado importantes recursos en dichos subsidios, mismos que pudieron haber sido utilizados en otros rubros como educación, salud o infraestructura.

De acuerdo a Scott, en el año 2012, el subsidio a la gasolina fue superior al gasto en salud y pensiones del IMSS. El subsidio a la gasolina también es regresivo, es decir, beneficia en mayor medida a la población de alto ingreso, a diferencia de otros programas sociales, cuyos beneficios se focalizan a la porción más vulnerable de la población (Scott, 2014).

Asimismo, los subsidios a las tarifas eléctricas se entregan en mayor parte a consumidores y productores de alto ingreso, lo que eleva la desigualdad del ingreso en el país, y es que tan solo el 1.25 %¹¹¹ de los usuarios residenciales pagan una tarifa no subsidiada, por lo que gran parte del subsidio se otorga al sector de la población con alto poder adquisitivo que realmente no lo necesita. Por otro lado, el subsidio en el sector agrícola favorece en mayor medida a los grandes productores,

¹¹¹ Fuente: INEGI

que utilizan el subsidio de electricidad para el bombeo de agua, lo que además contribuye a la sobreexplotación de los acuíferos.

La distorsión de precios generada por el subsidio a la electricidad afecta directamente al mercado de energía renovable. Por ende, este subsidio contribuye a que la matriz energética en México permanezca concentrada en las fuentes fósiles, como los ciclos combinados de gas natural, que tienen un alto impacto ambiental.

Por todo lo anterior, en el nuevo contexto energético dado por la Reforma Energética y la Ley de Transición Energética, aplicación de subsidios a energías renovables sería una estrategia “más, más”, ya que el Estado ganaría más si le da subsidios a las energías renovables que a las energías convencionales, debido a que sus precios no son volátiles, son estables y constantes en su generación de energía por lo que sus precios tarifarios, serán determinados por el consumo como sucede con los subsidios conocidos, así de simple.

5.3 La nueva modalidad de las Instituciones del sector energético

En México, existen diversas instituciones que se encargan de la regulación del sector energético, todas y cada una con un fin específico, sin embargo, la más importante es:

La Secretaría de Energía es el órgano principal del sector energético, esta se encarga de Conducir la política energética del país, dentro del marco constitucional vigente, para garantizar el suministro competitivo, suficiente, de alta calidad, económicamente viable y ambientalmente sustentable de energéticos que requiere el desarrollo de la vida nacional. El objetivo principal es tener una población con acceso pleno a los insumos energéticos, a precios competitivos; con empresas públicas y privadas de calidad mundial, operando dentro de un marco legal y regulatorio adecuado. Con un firme impulso al uso eficiente de la energía y a la investigación y desarrollo tecnológicos; con amplia promoción del uso de fuentes alternativas de energía; y con seguridad de abasto.

En 2013, con la promulgación de la Reforma Energética, se inició la más profunda transformación del sector energético de las últimas ocho décadas. Institucionalmente hablando, el objetivo es reforzar las facultades de planeación y la rectoría de la Secretaría de Energía, además, se crearon nuevas instituciones y se fortalecieron las ya existentes. El actual marco regulatorio, otorgó una nueva naturaleza jurídica a:

- Petróleos Mexicanos, PEMEX.
- Comisión Federal de Electricidad, CFE.

Convirtiéndolas en Empresas Productivas del Estado con autonomía presupuestal y de gestión, y libertad de asociarse con el sector privado para competir en igualdad de condiciones en los renovados mercados de hidrocarburos y de electricidad.

Asimismo, se crearon Consejos de Administración para conducir bajo las mejores prácticas internacionales de gobierno corporativo a ambas empresas: la Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH) y la Comisión Reguladora de Energía (CRE). Ambas fueron dotadas de independencia técnica y de administración. Estos órganos regulan la participación de las empresas públicas y privadas; uno de sus principales objetivos es garantizar la absoluta transparencia en los contratos, permisos y procesos de licitación para asegurar el funcionamiento eficiente de los mercados energéticos.

Con la Reforma, también se establecieron dos organismos públicos descentralizados: Centro Nacional de Control de Energía (CENACE) y el Centro Nacional de Gas Natural, (CENAGAS). El primero, se encarga de controlar la operación del Sistema Eléctrico Nacional (SEN), y a partir de 2016, la del Mercado Eléctrico Mayorista. El segundo, tiene como principales funciones administrar y operar el sistema de transporte y almacenamiento de gas natural.

En materia de protección al entorno ecológico, se creó la Agencia de Seguridad, Energía y Ambiente (ASEA), que supervisa la seguridad industrial y regula la operación de las empresas petroleras para prevenir y reparar posibles daños al ecosistema.

La Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias (CNSNS), el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) y

el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), son responsables, en el ámbito de su competencia, de vigilar la seguridad nuclear, de la formación de técnicos y especialistas, del desarrollo de tecnología e innovación y de la prestación de servicios que proporcionen elementos de alto valor agregado para el fortalecimiento de los sectores de hidrocarburos y electricidad.

Finalmente, la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) promueve a través de la propuesta y ejecución de mejores prácticas de eficiencia, el aprovechamiento sustentable de la energía.

Todo lo anterior queda explícito en la Ley de los Órganos Reguladores Coordinados en Materia Energética

5.3.1 El nuevo contexto político-energético de la CFE

En cumplimiento del mandato Constitucional de 2013, de la Ley de la Industria Eléctrica y de la Ley de la Comisión Federal de Electricidad, la Secretaría de Energía emite los términos bajo los cuáles la CFE se debe organizar para participar en el mercado y la industria eléctrica.

Las reformas de la Ley de la Comisión Federal de Electricidad se encuentran en los artículos 1°, 4°, 10°, 12, 14, 39 y 57. En general, los cambios a estos artículos son los siguientes:

- La CFE deberá crear una subsidiaria de Transmisión, una de Distribución, una de Suministro Básico y al menos cuatro subsidiarias de Generación. Adicionalmente, la CFE podrá establecer otras subsidiarias y filiales que considere necesarias.
- La resolución sienta las bases para que la CFE mejore continuamente su desempeño y desarrolle su potencial en el nuevo entorno de competencia. Asimismo, fomenta el acceso abierto y la operación eficiente del sector eléctrico y sujeta el segmento de generación a condiciones de competencia y libre concurrencia.
- La resolución no afecta de manera alguna los derechos de los trabajadores de la CFE.

CONCLUSIONES

Actualmente, nadie puede imaginar un mundo sin energía de ningún tipo pero el alto consumo de combustibles fósiles para la generación de otras energías y energéticos, tiene consecuencias graves, tanto ambientales, sociales y económicas.

Como se ha visto a lo largo de este trabajo de investigación, las energías renovables no solo son una opción para resolver problemas ambientales como la contaminación y el cambio climático, sino que pueden satisfacer las necesidades energéticas de un país y sus distintos sectores, además de beneficiar en otros aspectos como la salud.

Ante este escenario, el tema de las energías renovables en México ha tomado fuerza muy recientemente, lo cual no es de extrañarse pues como ya se mencionó, el país tiene como base de su economía al petróleo y sus derivados, en pocas palabras, México es un país petrolarizado. Aunado a esto, la volatilidad de los precios del petróleo en los últimos tiempos y la incertidumbre de la disponibilidad de los hidrocarburos para satisfacer las necesidades energéticas de una población en constante crecimiento, ha provocado una inestabilidad económica y social.

Esta petrolarización ha implicado que la incursión de México en el tema de energías renovables y energías limpias sea mínima, con excepción de dos: la energía hidráulica y la energía geotérmica, las cuales forman parte fundamental del Sistema Eléctrico Nacional.

Lograr un mayor impulso en el desarrollo de energías renovables y energías limpias en México, puede representar la oportunidad de disminuir esa dependencia energética y económica que tiene hacia el petróleo, principalmente porque las energías renovables al provenir de recursos disponibles como el viento y la radiación solar, los cuales pueden “subsidiar” el modus vivendi energético del país sin afectar la economía del país. Asimismo, ya que son energías obtenidas de la naturaleza, sus precios y tarifas finales son dados por la tecnología disponible, no por un mercado internacional.

Y es que no solo se trata de los problemas económicos que el consumo de combustibles fósiles pueda generar. Los daños ambientales que estos causan deben ser temas de gran relevancia para el gobierno en todos sus niveles, la industria y la sociedad;

pues como se vio en esta investigación, el desarrollo económico y social de un país, está íntimamente ligado a su desarrollo energético.

De acuerdo al desarrollo sustentable, la integración de la economía, el ambiente y la sociedad, garantizarán el futuro para un país como México, también se debe considerar que es un país multicultural por lo que adaptar las políticas energética a las necesidades de cada región, pueden garantizar la eliminación de la pobreza energética en la que se encuentran aún algunas comunidades del país y que a su vez, impulsarán el crecimiento y desarrollo económico de las mismas.

Para lo anterior, se requieren esfuerzos en materia educativa. Una sociedad con educación ambiental, es una sociedad consciente de los beneficios que tiene el uso de energías renovables y energías limpias, conoce los daños del consumo excesivo de hidrocarburos y aumenta su participación e interés en temas de sustentabilidad, pues entiende que la buena administración de los recursos naturales y el cuidado del ambiente de su nación puede encaminarla a una transición energética será rápida.

Otro problema bastante remarcado con las energías renovables en México es el de la inversión en investigación y desarrollo tecnológicos. México no cuenta con alguna institución especializada en energías renovables y energías limpias, además, los recursos humanos disponibles y empleados en este sector específico de la energía son muy pocos; y dado que el desarrollo de este tipo de energías es en base a la tecnología disponible, esto puede significar el estancamiento de las energías renovables en el país

Para resolver estos problemas, se dictamina en el año 2013 la Reforma Energética, la cual hace una introducción al uso de energías renovables. Y en 2015, con la aprobación de la Ley de Transición Energética (LTE), quedan acentuadas las reglas por las cuales se impulsará el desarrollo de energías renovables y energías limpias, teniendo como objetivo que para el año 2030, el 35 % de la producción energética en México sea con energías renovables. Hay que ser realistas, los combustibles fósiles seguirán siendo los amos.

Mientras que otros países de América Latina como Brasil, Chile y Costa Rica (este último es el único país en el mundo en funcionar al 97 % con energías renovables),

comenzaron su transición energética desde la década de los años noventa, México intenta llegar a esa transición a pasos agigantados.

Desde un punto de vista muy personal, la Reforma Energética y sus leyes secundarias como la LTE, son resultado de la ineficiencia estatal para resolver los problemas energéticos de fondo, por lo que la inclusión de empresas privadas disminuirá la responsabilidad es del sector energético público (CFE y PEMEX) hasta cierto punto, y teniendo siempre como regulador al Estado. Creo también que esta nueva estructura en la política energética llegó tarde pero de manera apresurada, lo que provocó una mala estructuración en la misma pues sus objetivos son confusos y nunca se aclara el cómo lograrán el desarrollo de las energías renovables, además de que lo ve como un asunto meramente ambiental.

Aunado a esto, uno de los mayores impedimentos para lograr una transición energética con mayor inclusión de energías renovables es que el sector energético ha respondido por más de ochenta años a los intereses económicos y políticos de sindicatos (PEMEX principalmente) y partidos políticos, así como los intereses de la industria que hace uso de combustibles fósiles y al ser unos de los sectores más contaminantes cualquier intento en incluirlos en esta transición para un beneficio ambiental, representarían pérdidas económicas. Todo esto representa una lucha política para mantener beneficios económicos y políticos que impiden una buena estructuración y aplicación de la ley.

Asimismo, se debe entender que la Reforma Energética es una de las famosas Reformas Estructurales, por lo que no solamente se trata de hacer cambios mínimos para impulsar el sector energético, sino que se trata de una reestructuración total de este sector, lo cual implica romper con los paradigmas establecidos a lo largo de la historia del sector energético nacional y que puede o no llevar al país al éxito o fracaso.

Para terminar, se debe tener en cuenta que vivimos en un mundo globalizado con un constante crecimiento de su población y que el cambio climático es real, buscar opciones energéticas que puedan sustituir total o parcialmente a las energías fósiles, representa una oportunidad de tener un futuro sustentable y México no puede ni debe hacer caso omiso de este panorama.

RECOMENDACIONES

1. El desarrollo sustentable ve a la tecnología como una aliada, por lo que el Estado Mexicano, a través de sus instituciones enfocadas al sector energético y a la ciencia y tecnología, debe invertir en el desarrollo tecnológico propio.
2. Aunado al punto anterior, es necesaria la inversión en educación, especialmente en la educación superior y tecnológica para la formación de recursos humanos especializados en energías renovables y temas ambientales.
3. La educación ambiental debe ser un tema importante para el sistema educativo y debe implementarse desde la educación preescolar hasta la educación media superior. En este tema, la Secretaría de Educación Pública (SEP), la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), la SENER, instituciones y universidades, pueden desarrollar en conjunto de materias y/o clases de acuerdo al grado escolar en temas ambientales y desarrollo sustentable, que además incluyan temas energéticos.
4. El gobierno tiene la obligación de informar de manera clara y precisa a la población sobre las decisiones en materia de política energética, por lo que una mayor difusión de programas y decretos y constitucionales otras consideraciones en materia energética; esto propiciará una mayor inclusión social. Puede hacerlo a través de los distintos medios de comunicación como son radio, televisión e internet.
5. Aumentar la transparencia institucional, específicamente aquellas instituciones y órganos que conforman al sector energético nacional. Saber cómo funcionan dará mayor confianza a la ciudadanía.
6. Dar relevancia a la pobreza energética. La población que se encuentra en pobreza energética también se encuentra en pobreza económica, por lo que el acceso a la electricidad y a otros energéticos modernos debe de calificar como derecho social y humano, así como sucede con el agua.

7. El sector energético nacional y la participación del sector privado. Si el gobierno da información contundente, la población nacional entenderá el porqué de esta nueva inclusión de empresas privadas en el sector energético, la cuales incentivarán la competitividad.
8. Promover el uso eficiente de la energía en todos los sectores del país a través de programas públicos y privados. Además de promover alguna metodología para incentivar el ahorro energético.
9. El sector industrial mexicano debe aceptar su responsabilidad en la generación de GEI y otros contaminantes. Además de tomar parte para promover posibles soluciones en la mitigación de contaminación y el cambio climático.
10. La aplicación de subsidios a las energías renovables para su consumo (electricidad principalmente), podría propiciar una disminución en el consumo de energías convencionales.

ANEXO DE DATOS

Cuadro A1

| Países pertenecientes al ANEXO I del Protocolo de Kioto, 1997 | | |
|--|----------------------|-------------------|
| Alemania | Estonia* | Luxemburgo |
| Australia | Federación de Rusia* | Noruega |
| Austria | Finlandia | Nueva Zelanda |
| Belarús* | Francia | Países Bajos |
| Bélgica | Grecia | Polonia* |
| Bulgaria* | Hungría* | Portugal |
| Canadá | Irlanda | Reino Unido |
| Comunidad Económica Europea | Islandia | Irlanda del Norte |
| Checoslovaquia* | Italia | Rumania* |
| Dinamarca | Japón | Suecia |
| España | Letonia* | Suiza |
| EUA | Lituania* | Turquía |

*Países que se consideraban en proceso de transición a una economía de mercado.

Fuente: Elaboración propia con datos de la CMNUCC.

Cuadro A2

| Principales Países Emisores de CO₂ (Kt) | | | | |
|---|-----------------|--------------|--------------|--------------|
| Lugar | País | Años | | |
| | | 2000 | 2005 | 2010 |
| 1 | China | 3,405,179.87 | 5,790,016.98 | 8,286,891.95 |
| 2 | EU | 5,713,560.03 | 5,826,393.62 | 5,433,056.54 |
| 3 | India | 1,186,663.20 | 1,411,127.61 | 2,008,822.94 |
| 4 | Rusia | 1,558,111.97 | 1,615,687.53 | 1,740,776.24 |
| 5 | Japón | 1,219,589.20 | 1,238,180.89 | 1,170,715.42 |
| 6 | Alemania | 829,977.78 | 806,703.33 | 745,383.76 |

Las emisiones de dióxido de carbono son las que provienen de la quema de combustibles fósiles y de la fabricación del cemento. Incluyen el dióxido de carbono producido durante el consumo de combustibles sólidos, líquidos, gaseosos y de la quema de gas. Fuente: Elaboración propia con datos del Banco Mundial

Cuadro A3

| Emisiones de CO2 en América* (Kt) | | | |
|--|-------------------|-------------------|-------------------|
| País | Años | | |
| | 2000 | 2005 | 2010 |
| Canadá | 534,483.59 | 563,071.52 | 499,137.37 |
| México | 381,518.35 | 435,045.55 | 443,674.00 |
| Costa Rica | 5,474.83 | 7,088.31 | 7,770.37 |
| El Salvador | 5,742.52 | 6,453.92 | 6,248.57 |
| Guatemala | 9,915.57 | 12,453.13 | 11,118.34 |
| Honduras | 5,031.12 | 7,554.02 | 8,107.74 |
| Panamá | 5,790.19 | 6,838.96 | 9,633.21 |
| Cuba | 26,039.37 | 26,006.36 | 38,364.15 |
| Argentina | 141,076.82 | 160,951.96 | 180,511.74 |
| Bolivia | 10,223.60 | 12,324.79 | 15,456.41 |
| Brasil | 327,983.81 | 347,308.90 | 419,754.16 |
| Chile | 58,694.00 | 61,730.28 | 72,258.24 |
| Colombia | 57,923.93 | 60,945.54 | 75,679.55 |
| Ecuador | 20,942.24 | 29,908.05 | 32,636.30 |
| Perú | 30,296.75 | 37,135.71 | 57,579.23 |
| Venezuela | 152,415.19 | 181,630.18 | 201,747.34 |

Incluyen el dióxido de carbono producido durante el consumo de combustibles sólidos, líquidos, gaseosos y de la quema de gas.

*Algunos países de América Latina no fueron incluidos por no contar con datos.

Fuente: Elaboración propia con datos del Banco Mundial Las emisiones de dióxido de carbono son las que provienen de la quema de combustibles fósiles y de la fabricación del cemento.

Cuadro A4

| Países con mayor producción de Petróleo (Barriles por Día - Estimaciones 2012) | | |
|---|-----------------|------------------|
| Lugar | País | Cantidad |
| 1 | Arabia Saudita | 11,730,000 |
| 2 | Estados Unidos | 11,110,000 |
| 3 | Rusia | 10,440,000 |
| 4 | China | 4,155,000 |
| 5 | Canadá | 3,856,000 |
| 6 | Irán | 3,594,000 |
| 7 | Emiratos Árabes | 3,213,000 |
| 8 | Irak | 2,987,000 |
| 9 | México | 2,936,000 |
| 10 | Kuwait | 2,797,000 |
| 11 | Brasil | 2,652,000 |
| 12 | Nigeria | 2,524,000 |
| 13 | Venezuela | 2,489,000 |
| 14 | Noruega | 1,902,000 |
| 15 | Algeria | 1,875,000 |
| 16 | Angola | 1,872,000 |
| 17 | Unión Europea | 1,866,000 |
| 18 | Kazajstán | 1,606,000 |
| 19 | Qatar | 1,579,000 |
| 20 | Libia | 1,483,000 |

Cuadro A5

| Países con Mayores Reservas a 2013 (Miles de Millones de Barriles, estimaciones) | | |
|---|-----------------|-----------------------|
| Lugar | País | Barriles |
| 1 | Venezuela | 297,600,000,000 |
| 2 | Arabia Saudita | 267,900,000,000 |
| 3 | Canadá | 173,100,000,000 |
| 4 | Irán | 154,600,000,000 |
| 5 | Irak | 141,400,000,000 |
| 6 | Kuwait | 104,000,000,000 |
| 7 | Emiratos Árabes | 97,800,000,000 |
| 8 | Rusia | 80,000,000,000 |
| 9 | Libia | 48,010,000,000 |
| 10 | Nigeria | 37,200,000,000 |
| 11 | Kazajstán | 30,000,000,000 |
| 12 | Qatar | 25,380,000,000 |
| 13 | Estados Unidos | 20,680,000,000 |
| 14 | China | 17,300,000,000 |
| 15 | Brasil | 13,150,000,000 |
| 16 | Algeria | 12,200,000,000 |
| 17 | Angola | 10,470,000,000 |
| 18 | México | 10,260,000,000 |
| 19 | Ecuador | 8,240,000,000 |
| 20 | Azerbaiyán | 7,000,000,000 |

Fuente: Para ambos cuadros, elaboración propia con datos de forbes.com.mx con datos de la CIA World Factbook.

Cuadro A6

| Gas Natural 2002 / 2012 | | | | |
|-------------------------|-------------------------------------|------|-------------------------------------|-------|
| País | Reservas | | Producción | |
| | Miles de Millones de Metros Cúbicos | | Miles de Millones de Metros Cúbicos | |
| | 2002 | 2012 | 2002 | 2012 |
| Mundial | | | | |
| China | 1.3 | 3.1 | 32.7 | 107.2 |
| EU | 5.3 | 8.5 | 536 | 681.4 |
| India | 0.8 | 1.3 | 27.6 | 40.2 |
| Rusia | 29.8 | 32.9 | 538.8 | 592.3 |
| Alemania | 0.2 | 0.1 | 17 | 9 |
| América Latina | | | | |
| México | 0.4 | 0.4 | 39.7 | 58.5 |
| Brasil | 0.2 | 0.5 | 9.2 | 17.4 |
| Venezuela | 4.2 | 5.6 | 28.4 | 32.8 |
| Argentina | 0.7 | 0.3 | 36.1 | 37.7 |
| Colombia | 0.1 | 0.2 | 6.2 | 12 |
| Perú | 0.2 | 0.4 | 0.4 | 12.9 |

Cuadro A7

| Carbón 2012 | | |
|-----------------------|-----------------------|------------|
| País | Reservas | Producción |
| | Millones de Toneladas | |
| Mundial | | |
| China | 114500 | 1873.3 |
| EU | 237,95 | 437.8 |
| India | 60,600 | 298.3 |
| Rusia | 157,010 | 93.9 |
| Japón | 350 | 124.4 |
| Alemania | 40,699 | 79.2 |
| América Latina | | |
| México | 1,211 | 8.8 |
| Brasil | 4,559 | 13.5 |
| Colombia | 6,746 | 4 |
| Venezuela | 479 | 0.2 |
| Argentina | - | 1 |
| Chile | - | 6.7 |

Fuente: Elaboración propia de ambas tablas con datos de BP Statistical Review of World Energy June 2013.

Cuadro A8

| Países Productores de Energía Nuclear - 2014 (MW) | | | |
|--|--------------------|----------------------------|---------------------------------------|
| Lugar | País | Número de Reactores | Capacidad Eléctrica Total (MW) |
| 1 | Estados Unidos | 99 | 98,639 |
| 2 | Francia | 58 | 63,130 |
| 3 | Japón | 43 | 40,290 |
| 4 | Rusia | 34 | 24,654 |
| 5 | China | 27 | 23,025 |
| 6 | República de Corea | 24 | 21,667 |
| 7 | India | 21 | 5,308 |
| 8 | Canadá | 19 | 13,500 |
| 9 | Inglaterra | 16 | 9,373 |
| 10 | Ucrania | 15 | 13,107 |
| 11 | Suecia | 10 | 9,651 |
| 12 | Alemania | 9 | 12,074 |
| 13 | Bélgica | 7 | 5,921 |
| 14 | España | 7 | 7,121 |
| 15 | República Checa | 6 | 3,904 |
| 16 | Suiza | 5 | 3,333 |
| 17 | Finlandia | 4 | 2,752 |
| 18 | Hungría | 4 | 1,889 |
| 19 | Eslovaquia | 4 | 1,814 |
| 20 | Argentina | 3 | 1,627 |
| 21 | Pakistán | 3 | 690 |
| 22 | Bulgaria | 2 | 1,926 |
| 23 | Brasil | 2 | 1,884 |
| 24 | Sudáfrica | 2 | 1,860 |
| 25 | México | 2 | 1,330 |
| 26 | Rumania | 2 | 1,300 |
| 27 | Armenia | 1 | 375 |
| 28 | Iran | 1 | 915 |
| 29 | Holanda | 1 | 482 |
| 30 | Eslovenia | 1 | 688 |

Fuente: Elaboración propia con datos de la AIEA - PRIS
México se encuentra en el lugar 25 por el número de reactores y la capacidad eléctrica total que estos generan.

Cuadro A9. Centrales de Biogas en México por Estado

| Centrales de Biogas | | | | | |
|---|--|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------|------------------|
| Estado | Nombre | Capacidad Instalada (MW) | Generación Actual (GWh/a) | Inicio de Operación | Productor |
| Chihuahua | Energía Eléctrica de Juárez | 6.4 | 25.51 | 15/06/2011 | Privado |
| | Energía Lacte | 0.8 | 0.11 | 18/06/2009 | Privado |
| Nuevo León | Bioenergía de Nuevo León | 16.96 | 101.58 | 07/04/2003 | Privado |
| | Planta Dulces Nombres | 9.2 | 0.59 | 24/08/1997 | Privado |
| | Planta Norte (Gobierno de NL) | 1.6 | 0 | 15/08/1997 | Privado |
| Durango | Ener-G | 1.6 | 2.03 | 22/08/2014 | Privado |
| Aguascalientes | Energía Verde de Aguascalientes | 3.2 | 12.33 | 06/04/2010 | Privado |
| Guanajuato | Ecosys III | 1.75 | 1.36 | 01/07/2011 | Privado |
| Jalisco | Renova Atlatec | 11.4 | 0 | 17/04/2014 | Privado |
| | Planta El Ahogado Atlatec | 2.85 | 7.58 | 05/05/2012 | Privado |
| Querétaro | TMQ Generación de Energía Renovable | 1.373 | 0 | 27/11/2012 | Privado |
| | Atlatec | 1.05 | 2.42 | 25/11/2010 | Privado |
| Edo. De México | Relleno Sanitario Puerto Chivo | 0.6 | 3.5 | 21/03/2014 | Privado |
| | La Costeña y Jugomex | 0.97 | 4.51 | 12/07/2004 | Privado |
| Puebla | Empacadora San Marcos | 0.974 | 0 | 01/02/2013 | Privado |
| Centrales de Biogas por Combustión Directa | | | | | |
| Sinaloa | Azucarera Los Mochis | 14 | 17.29 | Antes del 92 | Privado |
| | El Dorado | 9.6 | 7.62 | Antes del 92 | Privado |
| Nayarit | Ingenio El Molino | 10 | 14.22 | Antes del 92 | Privado |
| Jalisco | Ingenio Melchor Ocampo | 6.1 | 27.2 | Antes del 92 | Privado |
| | Ingenio San Francisco Ameca | 4.5 | 14.79 | Antes del 92 | Privado |
| | Tala Electric | 25 | 95.56 | 01/04/2012 | Privado |
| | Ingenio Tala | 12 | 1.67 | Antes del 92 | Privado |
| | Bio Pappel, Atenquique | 15.5 | 23.51 | 27/10/2011 | Privado |
| | Tamazula | 10.47 | 44.66 | Antes del 92 | Privado |
| Colima | Ingenio Quesería | 5.5 | 23.16 | 23/10/1984 | Privado |
| Michoacán | Ingenio Santa Clara | 9.1 | 13.43 | 22/03/1984 | Privado |
| | Ingenio Lázaro Cárdenas | 5.5 | 9.5 | Antes del 92 | Privado |
| San Luis Potosí | Ingenio San Miguel del Naranjo | 9.3 | 68.99 | 12/05/1978 | Privado |
| | Ingenio Alianza Popular | 6.4 | 31.66 | Antes del 92 | Privado |
| | Ingenio Plan de San Luis | 9 | 23.4 | Antes del 92 | Privado |
| | Ingenio Plan de Ayala | 16 | 24.26 | 28/01/1981 | Privado |

| | | | | | |
|------------------------|--------------------------------------|-------|--------------|--------------|---------|
| Tamaulipas | Ingenio El Mante | 5.75 | 8.97 | 01/11/2010 | Privado |
| | Azucarera del Río Guayalejo | 7.5 | 22.66 | 25/10/2010 | Privado |
| Veracruz | Fomento Azucarero del Golfo | 8 | 26.56 | 13/02/1986 | Privado |
| | Ingenio La Gloria | 21.5 | 14.91 | 17/03/1978 | Privado |
| | Ingenio Mahuixtlán | 3.26 | 5.14 | 28/02/1969 | Privado |
| | Azucarera La Concepción | 4.2 | 0.53 | Antes del 92 | Privado |
| | Azucarera Independencia | 9.6 | 0.96 | Antes del 92 | Privado |
| | Central Motzorongo | 20 | 11.56 | 12/05/1978 | Privado |
| | Ingenio El Refugio | 4 | 0.63 | 12/05/1978 | Privado |
| | Ingenio San Miguelito | 5.2 | 7.17 | Antes del 92 | Privado |
| | Ingenio El Carmen | 6.75 | 6.4 | 23/10/1980 | Privado |
| | Ingenio La Providencia | 7 | 10.33 | 28/01/1981 | Privado |
| | Destilería del Golfo | 8 | 8.96 | 01/04/2013 | Privado |
| | Cuenca del Papaloapan | 24.2 | 86.6 | Antes del 92 | Privado |
| | Ingenio San Nicolás | 14.4 | 44.73 | 23/10/1983 | Privado |
| | Ingenio San Pedro | 10 | 33.42 | Antes del 92 | Privado |
| | Ingenio Nuevo San Francisco | 6.5 | 13.32 | 24/05/2007 | Privado |
| | Compañía Industrial Azucarera | 5.5 | 12.81 | Antes del 92 | Privado |
| Ingenio El Higo | 21.8 | 38.84 | Antes del 92 | Privado | |
| Tabasco | Ingenio Benito Juárez | 14 | 38.12 | Antes del 92 | Privado |
| | Azuremex | 2.5 | 2.92 | Antes del 92 | Privado |
| | Santa Rosalía | 25.2 | 16.92 | Antes del 92 | Privado |
| Puebla | Ingenio Atencingo | 15 | 28.64 | Antes del 92 | Privado |
| Morelos | Ingenio Casasano | 3.4 | 4.92 | Antes del 92 | Privado |
| | Ingenio Emiliano Zapata | 8.6 | 24.31 | Antes del 92 | Privado |
| Oaxaca | Ingenio La Margarita | 7.3 | 25.25 | 03/06/1968 | Privado |
| Chiapas | Azucarera La Fe | 13.06 | 24.87 | Antes del 92 | Privado |
| | Huixtla Energía | 12 | 23.32 | 01/03/2013 | Privado |
| Quintana Roo | Ingenio San Rafael de Pucté | 9 | 23.81 | Antes del 92 | Privado |

Fuente: Elaboración propia con datos del Inventario Nacional de Energías Renovables (INERE).

*Capacidad instalada a junio de 2015.

Cuadro A10. Centrales Hidroeléctricas en México por Estado

| Centrales Hidroeléctricas en México a 2015 | | | | | | |
|---|--|------------------|-------------|-----------------|---------------------------------|---------------------------|
| Estado | Nombre | Productor | Tipo | Unidades | Capacidad Instalada (MW) | Generación (GWh/a) |
| Chiapas | Peñitas | CFE | GH | 4 | 420 | 1990.2 |
| | La Angostura | CFE | GH | 5 | 900 | 2870.83 |
| | Bombana | CFE | PH | 4 | 5.24 | 24.51 |
| | Chicoasén | CFE | GH | 8 | 2400 | 6260.47 |
| | José Cecilio del Valle | CFE | PH | 3 | 21 | 100.95 |
| | Malpaso | CFE | GH | 6 | 1080 | 4336.64 |
| | Schpoiná | CFE | PH | 3 | 2.24 | 8.85 |
| Chihuahua | Boquilla | CFE | PH | 4 | 25 | 76.74 |
| | Colina | CFE | PH | 1 | 3 | 8.32 |
| Coahuila | La amistad | CFE | GH | 2 | 66 | 48.08 |
| Durango | Primero Empresa Minera | Privado | PH | 5 | 19.73 | 28.14 |
| Edo. de México | Alameda | CFE | PH | 3 | 6.99 | 7.82 |
| Guanajuato | Compañía Eléctrica Carolina | Privado | PH | 3 | 2.49 | 6.14 |
| Guerrero | La Venta | CFE | PH | 5 | 30 | 0 |
| | El Caracol | CFE | GH | 3 | 600 | 1495.72 |
| | Colotlipa | CFE | PH | 4 | 8 | 28.49 |
| | Infiernillo | CFE | GH | 6 | 1160 | 3669.97 |
| | Mexicana de Hidroelectricidad | Privado | PH | 1 | 30 | 148.43 |
| Hidalgo | Zimapán | CFE | GH | 2 | 292 | 2027.68 |
| Jalisco | Colimilla | CFE | GH | 4 | 51.2 | 63.65 |
| | Ingenio Tamazula, Planta Santa Cruz | Privado | PH | 2 | 0.64 | 1.21 |
| | Hidroeléctrica Cajón de Peña | Privado | PH | 2 | 1.2 | 6.86 |
| | Hidroelectricidad del Pacífico | Privado | PH | 1 | 9.15 | 38.2 |
| | Proveedora de Electricidad de Occidente | Privado | PH | 1 | 19 | 51.31 |
| | Luis M. Rojas (Intermedia) | CFE | PH | 1 | 5.32 | 9.31 |
| | Manuel M. Diéguez (Santa Rosa) | CFE | GH | 2 | 70 | 248.42 |
| | Puente Grande | CFE | PH | 1 | 9 | 32.87 |
| | Agua Prieta | CFE | GH | 2 | 240 | 230.94 |
| | Hidroeléctrica Arco Iris | Privado | GH | 2 | 4.2 | 17.29 |

| | | | | | | |
|------------------------|---------------------------------------|---------|----|----|------|---------|
| Michoacán | Bartolinas | CFE | PH | 2 | 0.75 | 2.09 |
| | Botello | CFE | PH | 2 | 18 | 89.23 |
| | Cupatitzio | CFE | GH | 2 | 80 | 452.02 |
| | El Cóbano | CFE | GH | 2 | 60 | 280.26 |
| | Itzícuaró | CFE | PH | 2 | 0.62 | 1.8 |
| | Gobierno del Edo. de Michoacán | Privado | PH | 1 | 4.05 | 16.1 |
| | La Villita | CFE | GH | 4 | 320 | 1559.59 |
| | Platanal | CFE | PH | 2 | 12.6 | 47.6 |
| | San Pedro Porúas | CFE | PH | 2 | 2.56 | 5.94 |
| | Tepuxtepec (Lerma) | CFE | GH | 3 | 74 | 293.49 |
| | Tirio | CFE | PH | 3 | 1.1 | 3.77 |
| | Zumpimito | CFE | PH | 2 | 8.4 | 51.68 |
| Nayarit | Aguamilpa (Solidaridad) | CFE | GH | 3 | 960 | 1817.07 |
| | Jumatán | CFE | PH | 4 | 2.18 | 12.54 |
| | La Yesca | CFE | GH | 2 | 750 | 957.34 |
| | El Cajón | CFE | GH | 2 | 750 | 1237.53 |
| Oaxaca | Tamazulapan | CFE | PH | 2 | 2.48 | 9.74 |
| | Temascal II | CFE | GH | 6 | 354 | 1283.03 |
| Puebla | Energía EP | Privado | PH | 1 | 0.41 | 2.48 |
| | Compañía de Energía Mexicana | Privado | PH | 2 | 36 | 260.97 |
| | Mazatepec | CFE | GH | 4 | 220 | 581.42 |
| | Necaxa | CFE | GH | 10 | 109 | 438.64 |
| | Patla | CFE | GH | 3 | 37 | 181.36 |
| | Portezuelos I y II | CFE | PH | 6 | 3.06 | 20.35 |
| | Tepexic | CFE | GH | 3 | 45 | 190.49 |
| San Luis Potosí | El Salto | CFE | PH | 2 | 18 | 100.33 |
| | Electroquímica | CFE | PH | 1 | 1.44 | 10.58 |
| | Micos | CFE | PH | 2 | 0.69 | 1.66 |
| Sinaloa | Bacurato | CFE | GH | 2 | 92 | 237.86 |
| | El Fuerte | CFE | GH | 3 | 59.4 | 304.66 |
| | Humaya | CFE | GH | 2 | 90 | 203.13 |
| | Luis Donaldo Colosio (Huites) | CFE | GH | 2 | 422 | 981.86 |
| | Raúl J. Marsal C. (Comedero) | CFE | GH | 2 | 100 | 226.64 |
| | Salvador Alvarado (Sanalona) | CFE | PH | 2 | 14 | 52.7 |
| Sonora | Mocuzari | CFE | PH | 1 | 9.6 | 52.22 |
| | Oviachic | CFE | PH | 2 | 19.2 | 92.38 |
| | El Novillo | CFE | GH | 3 | 135 | 569.28 |

| | | | | | | |
|-------------------|---|---------|----|---|------|--------|
| Tamaulipas | Falcón | CFE | GH | 3 | 31.5 | 10.98 |
| Veracruz | Chilapan | CFE | PH | 4 | 26 | 106.73 |
| | Encanto | CFE | PH | 2 | 10 | 0 |
| | Papelera Veracruzana | Privado | PH | 2 | 1.26 | 5.99 |
| | Hidrorizaba | Privado | PH | 1 | 1.6 | 9.58 |
| | Ixtaczoquitlán | CFE | PH | 1 | 1.6 | 11.88 |
| | Hidrorizaba II | Privado | PH | 5 | 4.44 | 15.45 |
| | Cervecería Cuauhtémoc-Moctezuma | Privado | PH | 3 | 10 | 24.55 |
| | Procesamiento Energético Mexicano | Privado | PH | 3 | 11.3 | 51.15 |
| | Minas | CFE | PH | 3 | 15 | 89.84 |
| | Texolo | CFE | PH | 2 | 1.6 | 12.77 |
| | Tuxpango | CFE | GH | 4 | 36 | 112.81 |
| | Río Apatlahuaya (Electricidad del Golfo) | Privado | GH | 1 | 30 | 71.82 |

GH: Gran hidráulica

PH: Pequeña hidráulica.

*Capacidad instalada a junio de 2015.

Fuente: Elaboración propia con datos del Inventario Nacional de Energías Renovables (INERE).

BIBLIOGRAFÍA

AEDENAT (1993). *Energía para el mañana: Conferencia sobre energía y equidad en un mundo sostenible*. Compilación. Editorial Los Libros de la Catarata. Madrid, España.

Alenza García, José Francisco y Sarasíbar Iriarte, Miren (2007). *Cambio Climático y Energías Renovables*. Editorial Thomson – Civitas. Primera edición. España.

Calva, José Luis – Coordinador (2012a). *Cambio climático y políticas de Desarrollo Sustentable*. Juan Pablo Editor S. A. México.

Calva, José Luis – Coordinador (2012b). *Crisis Energética Mundial y Futuro de la Energía en México*. Análisis Estratégicos para el Desarrollo - Volumen 8. Consejo Nacional de Universitarios. Juan Pablos Editor S. A. México, D. F.

Calles, Alipo G. - Coordinador (2012). *Eficiencia Energética*. UNAM – Editorial Terracota. Primera edición. México, D. F.

Chevalier, Jean-Marie y Geoffron Patrice – Editors (2013). *The New Energy Crisis – Climate, economics and geopolitics*. Palgrave Macmillan Editorial. Second Edition. United Kingdom.

CISAN – UNAM. *Voices of Mexico # 93*. Editorial Board. Verano, 2012.

CISAN – UNAM. *Voices of Mexico # 97*. Editorial Board. Otoño – Invierno, 2013 – 2014.

Comisión Europea (2008). *La lucha contra el cambio climático: La UE lidera el camino*. Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas.

Córdoba Quiroz, Ricardo A (2013). *La seguridad de las centrales nucleoelectricas: Central Laguna Verde*. CFE - CONACYT. PDF.

Creus Solé, Antonio (2014). *Energías Renovables*. Primera edición. Ediciones Ceysa. Barcelona, España.

De la Garza Toledo, E., Melgoza, Javier, de la Garza L., Laviada, E., Trujillo, M., Sánchez, V., Corral, R., Amezcua, H., Reyes, R. y Rojo, G. (1994) *Historia de la Industria Eléctrica en México – Tomo I*. UAM Iztapalapa. Primera edición. México.

De la Garza Toledo, E., Melgoza, Javier, de la Garza L., Laviada, E., Trujillo, M., Sánchez, V., Corral, R., Amezcua, H., Reyes, R. y Rojo, G. (1994) *Historia de la Industria Eléctrica en México – Tomo II*. UAM Iztapalapa. Primera edición. México.

Delgado Ramos, Gian Carlo (2009). *Sin Energía – Cambio de paradigma, retos y resistencias*. Editorial Plaza y Valdez S.A. de C.V. Primera edición. México, D.F.

Elias Castells, Xavier y Bordas Alsina, Santiago (2011). *Energía, agua, medio ambiente, territorialidad y sostenibilidad*. Editores Díaz de Santos. Primera edición. España.

Enciclopedia Temática Ilustrada: *Vol. 6 - Física y Química*. Thema Equipo Editorial, S. A. Primera edición. España. 2003.

Enciclopedia Temática Ilustrada: *Vol. 12 – Ecología y Medio Ambiente*. Thema Equipo Editorial, S. A. 1ra edición. España. 2003.

Fernández Salgado, José Ma. (2009). *Tecnología de las energías renovables*.

FMI (2013). *Energy Subsidy Reform: Lessons and Implications*. PDF. Fondo Monetario Internacional.

García Páez, Benjamín (2000). *Economía Ambiental*. Primera edición. Facultad de Economía, UNAM.

Gay, Carlos y Rueda, José (2012). *México frente al cambio climático – Retos y oportunidades*. UNAM

Gil García, Gregorio (2009). *Energías del Siglo XXI – De las energías fósiles a las alternativas*. Mundi Prensa/Antonio Madrid Vicente Ediciones. Primera edición. Madrid, España.

International Energy Agency/OECD (2001). *Toward a sustainable energy future*. París, Francia. Valher Editorial.

- Landa, F. J. (2006) *Ministerio de Industria, Turismo y Comercio de España*. PDF. Junio.
- LUMINEX de México S. A. de C. V. (1995). *Manual de Capacitación - Introducción a la electricidad e instalaciones comerciales y residenciales*.
- Carriles, Luis (2015). *Luz verde a ley de energías limpias*. El Economista. Noviembre 26. Núm. 6890. Pp. 4-5.
- Madrid, Antonio (2009). *Energías Renovables – Fundamentos, tecnologías y aplicaciones*. AMV Ediciones / Mundi Prensa. Primera edición. Madrid, España.
- Menéndez Pérez, Emilio (2004). *Energía. Factor crítico en la sustentabilidad: Año 2025. Crisis social y ambiental. Una hipótesis factible*. Editorial Netbiblio S. L. Primera Edición. España.
- IEA (2013). *World Energy Outlook*. PDF. Agencia Internacional de Energía.
- INECC – SEMARNAT (2012). *México Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. PDF.
- Nakicenovic, Nebojsa; Grübler, Arnulf y McDonald, Alan (1998). *Global Energy Perspectives*. IIASA- WEC – Cambridge University. Reino Unido.
- OCDE (2010). *Interim Report of the Green Growth Strategy: Implementing our Commitment for a Sustainable Future. Meeting of the OECD Council at Ministerial Level*. The Organisation for Economic Co-operation and Development. PDF. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos.
- ONU (1987). *Our Common Future*. PDF.
- Peña Rodríguez, Ma. Fernanda (2009). *Ventajas y desventajas del uso de energía nuclear*. Debate Social. PDF.
- Perales Benito, Tomás (2012). *El universo de las energías renovables*. Primera edición. Editorial Marcombo. Barcelona, España.

Randall, A. (1987). *Resource Economics: An economic approach to natural resource and environmental policy*. Segunda Edición. John Wiley & Son Editorial. Nueva York, EU.

Reséndiz-Núñez, Daniel - Coordinador. (1994). *El sector eléctrico de México*. CFE. Fondo de la Cultura Económica. Primera edición. México, D. F.

Riba, Carles; Sans, Ramón y Torrents, Eva (2013). *El Crac Energético: Cifras y Falacias*. Primera edición. Editorial Octaedro. Barcelona, España.

SEMARNAT. *Cambio Climático: Impactos, causas y opciones*. Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable. PDF.

SENER. Alatorre Frank, Claudio (2009). *Energías renovables para el desarrollo sustentable de México*. PDF.

SENER (2013). Centros Mexicanos de Innovación en Energía. PDF

Scott, John (2014). *Subsidios a los combustibles en México: Oportunidades de Reforma*. Centro de Investigación y Docencia Económicas.

Solís García, Jesús J. (2014). *Hidrógeno y energías renovables – Soluciones para un mañana sustentable*. Editorial Trillas. Primera edición. México.

Sociedad Nuclear Mexicana A. C (2010). *¿Qué es la central nucleoelectrica Laguna Verde?*. PDF.

Thoma, Ulrich (coordinador); Domínguez, Gabriela y Bolaños, Juan Luis (2014). *De lo insostenible a lo sustentable – Propuestas básicas, indicadores y casos de éxito para tomar decisiones sustentables en México*. IEXE editorial. Primera edición. México.

Torres, Juan Carlos y Quero Mota, Arturo (2001). *Física – Cuaderno de Ejercicios*. Editorial Larousse.

Vega de Kuyper, Juan Carlos y Ramírez Morales, Santiago (2014). *Fuentes de Energía, Renovables y No Renovables – Aplicaciones*. Primera edición. Alfaomega Grupo Editor. México, D.F.

FUENTES DE INTERNET

- www.anes.org
- www.animalpolitico.com
- www.bancomundial.org
- www.cenace.gob.mx
- www.conacyt.mx
- www.conuee.gob.mx
- www.cop21paris.org
- www.cre.gob.mx
- www.definicionabc.com
- www.definicion.de
- www.diputados.gob.mx
- www.eleconomista.com.mx
- www.energiaadebate.com
- www.energiaahoy.com
- www.expansion.mx
- www.fierasdelaingenieria.com
- www.forbes.com.mx
- www.globalcarbonatlas.org
- www.greenpeace.com.mx
- www.grc.nasa.gov
- www.iea.org
- www.iaea.org
- www.inegi.org.mx
- www.inere.energia.gob.mx
- www.iingen.unam.mx
- www.jornada.unam.mx
- www.juntadeandalucia.es
- www.latam.discovery.com
- www.oecd.org
- www.rae.es
- www.razon.com.mx
- www.semarnat.gob.mx
- www.sener.gob.mx
- www.sie.energia.gob.mx
- www.thefreedictionary.com
- www.wwindea.or

DOCUMENTALES, VIDEOS Y OTROS RECURSOS

Canal Once. *Especial Noticias: COP21 de París. Un nuevo pacto para salvar al planeta.* YouTube. Diciembre de 2015.

Canal Once. *México Social - Energía Nuclear.* YouTube. 2015.

Discovery Channel. *El desastre nuclear de Chernobyl (1986).* Documental. 2008.

Foro de la Industria Nuclear Española. *Foro Nuclear – Funcionamiento de una central nuclear.* YouTube. 2010.

History Channel. *Power – El Poder detrás de la Energía.* Documental. 2014

National Geographic Channel. *Segundos Catastróficos: Fukushima.* Documental. 2012.

Sustentabilidad UNAM. *EcoPuma03 – Luz en tu casa, calentamiento en el planeta.* CUAED. PUMA. Mirador Universitario. YouTube. 2014.

Sustentabilidad UNAM. *03 Energía sustentable para México.* CUAED. PUMA. Mirador Universitario. YouTube. 2014

Sustentabilidad UNAM. *Nuestro Futuro Común 1 - A 25 años del informe Brundtland.* CUAED. PUMA. Mirador Universitario. YouTube. 2014.

Sustentabilidad UNAM. *Nuestro Futuro Común 2 - México sustentable, ¿cerca o muy lejos?* CUAED. PUMA. Mirador Universitario. YouTube. 2014.