



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA  
INGENIERÍA EN ENERGÍA – SISTEMAS ENERGÉTICOS

DESARROLLO DE PROYECTOS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN MÉXICO PARA  
2024, A TRAVÉS DE FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE, EN EL MARCO DEL MERCADO  
ELÉCTRICO.

TESIS  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:  
SERGIO MORA PÉREZ

TUTOR  
DRA. CLAUDIA SHEINBAUM PARDO, INSTITUTO DE INGENIERÍA

CIUDAD UNIVERSITARIA, ENERO 2018

**JURADO ASIGNADO:**

Presidente: Dr. Rodríguez Padilla Víctor  
Secretario: Dr. León De Los Santos Gabriel  
Vocal: Dra. Sheinbaum Pardo Claudia  
1<sup>er.</sup> Suplente: Dra. Escobedo Izquierdo M. Azucena  
2<sup>do.</sup> Suplente: Dra. Martín Del Campo Márquez Cecilia

Lugar o lugares donde se realizó la tesis: Posgrado de Ingeniería de la UNAM

**TUTOR DE TESIS:**

Dra. Claudia Sheinbaum Pardo

-----  
**FIRMA**

## **DEDICATORIA**

*Este trabajo se le dedico a mi familia, que me ha apoyado en todo momento de mi vida, porque han creído en mí desde siempre; y sé que siempre estarán a mi lado.*

*Este gran esfuerzo se los debo a mi madre Consuelo, a mi padre Germán y mis hermanas Claudia, Araceli y Ana Lilia, porque han sido y serán parte fundamental de mi vida.*

*También, se lo dedico a mis sobrinos: Eduardo, Fernando, Javier y Luis, esperando que se motiven a que se realicen como profesionistas más adelante.*

*Dedicado también a la Dra. Claudia Sheinbaum Pardo, por volver a apoyarme y creer en mí en esta importante etapa académica que viví; y la cual disfruté mucho.*

## **AGRADECIMIENTOS**

*Quiero agradecer especial y enormemente a la Dra. Claudia Sheinbaum Pardo por todo su apoyo incondicional en el tiempo que llevo de conocerla, y por todas sus enseñanzas y consejos que me han servido para formarme como profesional.*

*Quiero hacer una mención distintiva a el apoyo recibido por parte de los sinodales, cuyas aportaciones fueron muy importantes para la mejora de este trabajo, a la Dra. Cecilia Martín del Campo Márquez, por su paciencia y valiosos consejos aportados para la tesis y en el proceso de graduación. A la Dra. Azucena Escobedo Izquierdo por sus enseñanzas y las clases agradables e interesantes en las que tuve oportunidad de estar. Quiero agradecer también al Dr. Víctor Rodríguez Padilla, por las grandes cátedras impartidas y compartir sus conocimientos en cada clase de forma amena. Y también al Dr. Gabriel León de los Santos, por sus importantes observaciones y aportaciones, mostrando interés en este trabajo, lo cual se agradece enormemente.*

*Asimismo, agradezco a todos los profesores con los que tuve la oportunidad de tomar clases y poder adquirir los conocimientos necesarios para obtener el grado de maestro, lo cual es uno de los mayores logros de mi vida.*

*A mis amigos y compañeros de generación, con los que pude compartir momentos agradables durante el tiempo de convivencia.*

*Además, muchas gracias al Posgrado de Ingeniería por la oportunidad que me brindó de poder realizar mis estudios de maestría y obtener los conocimientos en el campo de la energía, el cual me parece fascinante.*

*También, quiero agradecer al Instituto de Ingeniería por apoyarme nuevamente al igual que en la tesis de licenciatura, con los recursos necesarios para la realización de este trabajo.*

*Y especialmente agradezco sumamente a la UNAM, por permitirme estar en otra etapa académica y poder disfrutar de cada momento que pasé durante mi estancia en la maestría.*

# ÍNDICE DE CONTENIDO

|  |    |
|--|----|
| CAPÍTULO 1 .....   | 1  |
| INTRODUCCIÓN .....   | 1  |
| CAPÍTULO 2 .....   | 5  |
| LAS FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE EN MÉXICO Y SU IMPORTANCIA EN EL CAMBIO CLIMÁTICO ..... | 5  |
| 2.1 Breve resumen del consumo de energía mundial y las emisiones asociadas de GEI .....  | 5  |
| 2.2 Los costos de Energías Renovables .....  | 7  |
| 2.3 Reforma Energética de 2013 .....   | 8  |
| 2-4 Sistema Energético en México .....   | 11 |
| 2.4.1 Fuentes y consumo de energía en diferentes sectores del país .....                 | 11 |
| 2.4.2 Balance de energía .....   | 13 |
| 2.4.2.1 Oferta interna de energía primaria .....   | 13 |
| 2.4.2.2 Importaciones y exportaciones de energía .....                                   | 15 |
| 2.5 Fuentes de Energía Renovable en México .....   | 17 |
| 2.5.1 Disponibilidad de recursos energéticos .....                                       | 17 |
| 2.5.1.1 Inventario Nacional de Energías Renovables .....                                 | 17 |
| 2.5.1.2 Atlas Nacional de Zonas con Alto Potencial de Energías Limpias .....             | 19 |
| CAPÍTULO 3 .....   | 22 |
| EL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL .....  | 22 |
| 3.1 Sistema Eléctrico .....  | 22 |
| 3.2 Sistema Eléctrico Nacional .....   | 23 |
| 3.2.1 Generación de energía eléctrica en México .....                                    | 24 |
| 3.2.1.1 Tecnologías de generación eléctrica .....  | 24 |
| 3.2.1.2 Capacidad efectiva de generación eléctrica .....                                 | 25 |
| 3.2.1.2.1 Capacidad de Centrales Eléctricas con fuentes fósiles (CFE) .....              | 26 |
| 3.2.1.2.2 Capacidad de Centrales Eléctricas con fuentes limpias (CFE) .....              | 27 |
| 3.2.1.3 Generación bruta de energía con fuentes renovables .....                         | 28 |
| 3.2.1.4 Centrales de Generación en operación dentro del Sistema Eléctrico Nacional ..... | 28 |
| 3.2.4.1 Centrales eléctricas eólicas y fotovoltaicas en México .....                     | 30 |
| 3.2.2 Transmisión y distribución de energía eléctrica .....                              | 33 |
| 3.2.2.1 Redes de Transmisión y Redes Generales de Distribución .....                     | 33 |
| 3.2.2.2 Redes Eléctricas Inteligentes (REI) .....  | 34 |
| 3.2.2.3 Intercambio de energía entre regiones .....                                      | 36 |
| 3.2.3 Consumo de energía eléctrica .....   | 37 |
| 3.3 Emisiones de GEI asociadas a la generación eléctrica .....                           | 37 |
| CAPÍTULO 4 .....   | 40 |
| LA REFORMA ENERGÉTICA Y EL MERCADO ELÉCTRICO MAYORISTA .....                             | 40 |
| 4.1 Nueva industria eléctrica en México .....  | 40 |
| 4.1.1 La nueva estructura de CFE como Empresa Productiva del Estado .....                | 41 |
| 4.2 Participantes del Mercado .....  | 42 |
| 4.3 Comercialización de productos asociados .....  | 43 |
| 4.3.1 Energía .....  | 44 |
| 4.3.2 Potencia .....   | 45 |
| 4.3.3 Servicios Conexos .....  | 45 |
| 4.3.4 Derechos Financieros de Transmisión .....  | 45 |

|  |  |    |
|--|--|----|
| 4.3.5  | Certificados de Energías Limpias .....   | 45 |
| 4.4  | Modalidades de operación del Mercado Eléctrico Mayorista .....   | 47 |
| 4.4.1  | Mercado en el corto plazo .....  | 47 |
| 4.4.1.1  | Mercado de Día en Adelanto (MDA) .....   | 48 |
| 4.4.1.2  | Mercado en Tiempo Real (MTR) .....   | 48 |
| 4.4.1.3  | Mercado de Hora en Adelanto (MHA) .....  | 48 |
| 4.4.2  | Mercado en el mediano y largo plazo .....  | 49 |
| 4.4.3  | Subastas.....  | 49 |
| 4.4.4  | Despacho económico de carga.....   | 50 |
| CAPÍTULO 5   | .....  | 51 |
| ESCENARIOS DE CAPACIDAD DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON METODOLOGÍA ENERGYPLAN.....   |  |    |
| 5.1  | Prospectivas de generación de energía eléctrica con fuentes renovables en México .....   | 51 |
| 5.2.1  | Proyección de Centrales Eléctricas Eólicas y Fotovoltaicas con base en los resultados de la primera y segunda Subasta de Largo Plazo, hecha por el CENACE. ....              | 52 |
| 5.2  | Metodología EnergyPLAN .....   | 56 |
| 5.2.1  | Análisis técnico.....  | 57 |
| 5.2.2  | Análisis económico.....  | 58 |
| 5.3  | Escenario óptimo de capacidad de generación a través de EnergyPLAN y la Metodología de Combinación de Capacidad Mínima Total .....   | 58 |
| 5.4  | Comparación entre escenarios prospectivos de SENER y el escenario de referencia con EnergyPLAN   | 60 |
| 5.5  | Emisiones de CO <sub>2</sub> asociadas a la generación de energía eléctrica.....   | 64 |
| CAPÍTULO 6   | .....  | 66 |
| INTEGRACIÓN DE LAS FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE AL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL BAJO EL DESARROLLO DEL MERCADO ELÉCTRICO MAYORISTA ..... |  |    |
| 6.1  | Factores de integración de las energías renovables al Sistema Eléctrico Nacional (SEN) .....   | 66 |
| 6.1.1  | Los Certificados de Energías Limpias como elementos de integración de FER .....  | 71 |
| 6.1.2  | La importancia de los costos de operación en la rentabilidad de las Centrales Eléctricas con energías renovables.....  | 72 |
| 6.1.3  | El desarrollo de Redes Eléctricas Inteligentes que establezcan las condiciones de interconexión para el aprovechamiento de energías renovables .....                         | 73 |
| 6.1.3.1  | Las proyecciones de construcción de líneas de transmisión en zonas con alto potencial de recursos energéticos renovables.....  | 74 |
| 6.1.3.2  | La inclusión de los Sistemas de Almacenamiento de Energía en el SEN para la disminución de la intermitencia de las FER .....   | 75 |
| 6.1.4  | Los sistemas de información de potenciales de aprovechamiento de recursos energéticos utilizados como herramienta para la construcción de Centrales Eléctricas con FER ..... | 76 |
| 6.1.5.1  | El papel de los Centros Mexicanos de Innovación en Energía para la generación de conocimiento en energías renovables.....  | 78 |
| 6.2  | Factores que impiden la incorporación de energías renovables al Sistema Eléctrico Nacional (SEN)   | 79 |
| CAPÍTULO 7   | .....  | 81 |
| RESULTADOS Y CONCLUSIONES .....  |  |    |
| 7.1  | Resultados.....  | 81 |
| 7.2  | Conclusiones.....  | 82 |
| REFERENCIAS  | .....  | 84 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <i>Figura 1. 1. Cambio observado en la temperatura de la superficie 1901-2012</i> .....  | 1  |
| <i>Figura 1. 2. Concentraciones atmosféricas de CO<sub>2</sub></i> .....   | 2  |
| <i>Figura 2. 1. Consumo mundial total de energía final por combustible de 1971 a 2014</i> .....  | 5  |
| <i>Figura 2. 2. Tendencia de las emisiones mundiales de CO<sub>2</sub> asociadas a la producción de energía primaria en el mundo</i> ..... | 6  |
| <i>Figura 2. 3. Emisiones mundiales de CO<sub>2</sub> por generación eléctrica y de calor</i> .....  | 7  |
| <i>Figura 2. 4. Componentes de costo nivelado de energía en 2014</i> .....   | 8  |
| <i>Figura 2. 5. Mecanismos y políticas de fomento de energías renovables</i> .....   | 9  |
| <i>Figura 2. 6. Marco Legal del Sistema Energético Mexicano</i> .....  | 10 |
| <i>Figura 2. 7. Porcentajes de consumo de energía por sector en 2015</i> .....   | 11 |
| <i>Figura 2. 8. Consumo final total de energía en México vs Indicador Global de la Actividad Económica (IGAE)</i> .....                    | 12 |
| <i>Figura 2. 9. Esquema general de un Sistema de energía eléctrica</i> .....   | 13 |
| <i>Figura 2. 10. Oferta interna bruta de energías no renovables</i> .....  | 14 |
| <i>Figura 2. 11. Oferta interna bruta de energías renovables</i> .....   | 15 |
| <i>Figura 2. 12. Balanza comercial de energía primaria</i> .....   | 16 |
| <i>Figura 2. 13. Balanza comercial de energía secundaria</i> .....   | 16 |
| <i>Figura 2. 14. Inventario del potencial de energía eólica</i> .....  | 18 |
| <i>Figura 2. 15. Inventario del potencial de energía solar</i> .....   | 19 |
| <i>Figura 2. 16. Potencial de aprovechamiento identificado de Energías Renovables (GWh/a) en el país</i> .....                             | 19 |
| <i>Figura 2. 17. Zonas disponibles con alto potencial de aprovechamiento de energía solar fotovoltaica fija</i> .....                      | 20 |
| <i>Figura 2. 18. Zonas disponibles con alto potencial de aprovechamiento de energía eólica</i> .....                                       | 21 |
| <i>Figura 3. 1. Estructura de un Sistema Eléctrico</i> .....   | 23 |
| <i>Figura 3. 2. Regiones de control del Sistema Eléctrico Nacional (SEN)</i> .....   | 24 |
| <i>Figura 3. 3. Clasificación de Centrelas Eléctricas por tecnología</i> .....   | 25 |
| <i>Figura 3. 4. Generación bruta por tecnología</i> .....  | 25 |
| <i>Figura 3. 5. Evolución de la capacidad efectiva de Energías Fósiles</i> .....   | 27 |
| <i>Figura 3. 6. Evolución de la capacidad efectiva de Energías Limpias</i> .....   | 27 |
| <i>Figura 3. 7. Generación bruta de energía a través de Centrales Eólicas</i> .....  | 28 |
| <i>Figura 3. 8. Generación bruta de energía a través de Centrales Fotovoltaicas</i> .....  | 28 |
| <i>Figura 3. 9. Mapa de Centrales Eléctricas operando en 2015</i> .....  | 30 |
| <i>Figura 3. 10. Ubicación actual de Centrales Eléctricas Eólicas y Fotovoltaicas</i> .....  | 31 |
| <i>Figura 3. 11. Esquema general de transmisión y distribución de energía por Redes primarias</i> .....                                    | 33 |
| <i>Figura 3. 12. Líneas de transmisión, subtransmisión y distribución</i> .....  | 34 |
| <i>Figura 3. 13. Esquema general de una Red Eléctrica Inteligente</i> .....  | 35 |
| <i>Figura 3. 14. Intercambio de energía en el Sistema Eléctrico Nacional</i> .....   | 36 |
| <i>Figura 3. 15. Consumo de energía eléctrica en México</i> .....  | 37 |
| <i>Figura 3. 16. Emisiones de CO<sub>2</sub> debido a la generación eléctrica en el SEN</i> .....  | 39 |
| <i>Figura 3. 17. Porcentaje de emisiones de CO<sub>2</sub> por combustible en 2015</i> .....   | 39 |
| <i>Figura 4. 1. Esquema de la nueva industria eléctrica en México</i> .....  | 41 |
| <i>Figura 4. 2. Compañías de CFE</i> .....   | 41 |
| <i>Figura 4. 3. Nueva estructura de CFE</i> .....  | 42 |
| <i>Figura 4. 4. Productos asociados del MEM</i> .....  | 44 |
| <i>Figura 4. 5. Venta de energía eléctrica por sector tarifario en 2016</i> .....  | 44 |
| <i>Figura 4. 6. Representación esquemática de los CEL's</i> .....  | 47 |
| <i>Figura 4. 7. Esquema general del funcionamiento del Mercado Eléctrico Mayorista (MEM)</i> .....   | 47 |
| <i>Figura 4. 8. Proceso general del funcionamiento del Mercado en el corto plazo</i> .....   | 49 |

|  |    |
|--|----|
| <i>Figura 5. 1. Proyección de capacidad instalada de Energía Eólica en México hasta 2019.</i>  | 54 |
| <i>Figura 5. 2. Proyección de capacidad instalada de Energía Solar Fotovoltaica en México hasta 2019.</i>                              | 56 |
| <i>Figura 5. 3. Modelo de análisis de los sistemas de energía (EnergyPLAN).</i>  | 57 |
| <i>Figura 5. 4. Modelo de análisis de los sistemas eléctricos.</i>   | 58 |
| <i>Figura 5. 5. Evolución de la capacidad de generación eléctrica con fuente Eólica y Solar Fotovoltaica, 2016-2030.</i>               | 61 |
| <i>Figura 5. 6. Comparación de escenarios de capacidad de generación eléctrica para 2024, escenario SENER vs escenario EnergyPLAN.</i> | 62 |
| <i>Figura 5. 7. Retiro de capacidad por entidad federativa de 2016 a 2030.</i>   | 62 |
| <i>Figura 5. 8. Evolución de la capacidad de generación eléctrica por tecnología, 2015-2050.</i>                                       | 63 |
| <i>Figura 5. 9. Evolución de generación eléctrica por tecnología, 2015-2050.</i>   | 63 |
| <i>Figura 5. 10. Trayectoria de las metas de Energías Limpias 2016-2024.</i>   | 64 |
| <i>Figura 5. 11. Emisiones de CO<sub>2</sub> debido a la generación eléctrica en México 2006-2024.</i>                                 | 65 |
| <br>   |    |
| <i>Figura 6. 1. Nivel de impacto de los factores en la integración de las FER en cuanto a Infraestructura, Tecnología y Operación.</i> | 70 |
| <i>Figura 6. 2. Nivel de impacto de los factores en la integración de las FER en cuanto a lo Económico, Financiero y Comercial.</i>    | 70 |
| <i>Figura 6. 3. Nivel de impacto de los factores en la integración de las FER en cuanto a Política Energética.</i>                     | 71 |
| <i>Figura 6. 4. Cálculo estimado de asignación de CEL 's de 2019 a 2024.</i>   | 72 |
| <i>Figura 6. 5. Tiempo de Descarga vs. Capacidad de almacenamiento en.</i>   | 75 |
| <i>Figura 6. 6. Localización geográfica de lugares con disponibilidad de recursos eólicos por región del SEN.</i>                      | 77 |
| <i>Figura 6. 7. Localización geográfica de lugares con disponibilidad de recursos eólicos por región del SEN.</i>                      | 78 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| <i>Tabla 2. 1. Potencial solar FV aprovechable de México (solar fijo).</i>   | 21 |
| <i>Tabla 2. 2 Potencial eólico aprovechable de México.</i>   | 21 |
| <br>   |    |
| <i>Tabla 3. 1 Composición del parque de generación en 2015 y 2016.</i>   | 26 |
| <i>Tabla 3. 2 Centrales Fotovoltaicas.</i>   | 31 |
| <i>Tabla 3. 3 Centrales Eólicas.</i>   | 32 |
| <i>Tabla 3. 4 Factores de emisión de CO<sub>2</sub>, incluyendo fracción oxidable (Toneladas de CO<sub>2</sub>/Tera Joules).</i>   | 38 |
| <br>   |    |
| <i>Tabla 5. 1 Subastas de largo plazo en 2015 de Centrales Eléctricas Eólicas.</i>   | 53 |
| <i>Tabla 5. 2 Subastas de largo plazo en 2015 de Centrales Eléctricas Solares Fotovoltaicas.</i>   | 54 |
| <i>Tabla 5. 3 Combinaciones que resultan en las capacidades totales más bajas de Biocombustibles, Eólica, Fotovoltaica y Ciclo Combinado de Gas Natural, incluyendo la energía restante de las Centrales Nucleares, Geotérmicas, Hidroeléctricas y termoeléctricas convencionales que no son de Ciclo Combinado.</i> | 60 |
| <br>   |    |
| <i>Tabla 6. 1. Matriz de factores de integración de las Fuentes de Energías Renovables al SEN.</i>   | 67 |
| <i>Tabla 6. 2. Obras de transmisión, Baja California-SIN.</i>  | 74 |
| <i>Tabla 6. 3. Obras de transmisión, Istmo de Tehuantepec-Valle de México (Oaxaca).</i>  | 74 |
| <i>Tabla 6. 4. Obras de transmisión, Tamaulipas.</i>   | 74 |
| <i>Tabla 6. 5. Datos del potencial de aprovechamiento de energía solar fotovoltaica de zonas seleccionadas con EnergyPLAN.</i>   | 76 |
| <i>Tabla 6. 6. Datos del potencial de aprovechamiento de energía eólica de zonas seleccionadas con EnergyPLAN.</i>   | 77 |
| <i>Tabla 6. 7. Matriz de factores que impiden integración de las Fuentes de Energías Renovables al SEN.</i>  | 80 |
| <br>   |    |
| <i>Tabla 7. 1. Pronóstico de capacidad de generación eléctrica con Centrales eólicas y fotovoltaicas para 2024.</i>  | 81 |



## GLOSARIO DE TÉRMINOS

**Central Eléctrica:** Instalaciones y equipos que, en un sitio determinado, permiten generar energía eléctrica y Productos Asociados.

**Centro de Carga:** Instalaciones y equipos que, en un sitio determinado, permiten que un Usuario Final reciba el Suministro Eléctrico. Los Centros de Carga se determinarán en el punto de medición de la energía suministrada.

**Certificado de Energías Limpias:** Título emitido por la CRE que acredita la producción de un monto determinado de energía eléctrica a partir de Energías Limpias y que sirve para cumplir los requisitos asociados al consumo de los Centros de Carga.

**Costo marginal:** Es el aumento en el costo total que se produce cuando la cantidad producida cambia en una unidad

**Energías Limpias:** Aquellas fuentes de energía y procesos de generación de electricidad cuyas emisiones o residuos, cuando los haya, no rebasen los umbrales establecidos en las disposiciones reglamentarias que para tal efecto se expidan.

**Desarrollo Sostenible:** Un desarrollo que satisface las necesidades del presente sin menoscabar la capacidad de las futuras generaciones de satisfacer sus propias necesidades.

**Generación Distribuida:** Desarrollo de pequeñas fuentes de generación ubicadas lo más próximo posible al centro de consumo, preferentemente a partir de fuentes de Energía Limpia.

**NodoC:** Nodo de conectividad a la red. El conjunto de NodosC interconectados por ramas de la red constituye el Modelo de la Red Física.

**NodoP:** Nodo de Precios. Un NodoP corresponde a un NodoC individual o un conjunto de NodosC donde se modela la inyección o retiro físicos y para el cual un Precio Marginal Local se determina para las liquidaciones financieras en el Mercado Eléctrico Mayorista.

**Operación:** Conjunto coordinado de decisiones, instrucciones y acciones de control cuyo objetivo es proporcionar a los usuarios un suministro de energía eléctrica de Calidad, manteniendo la seguridad, Confiabilidad y Continuidad, maximizando el excedente económico total. También se define como la aplicación del conjunto de técnicas y procedimientos destinados al uso y funcionamiento adecuado de los elementos del sistema eléctrico.

**Precio Marginal Local:** Precio de la energía eléctrica en un nodo determinado del Sistema Eléctrico Nacional para un periodo definido, calculado de conformidad con las Reglas del Mercado y aplicable a las transacciones de energía eléctrica realizadas en el Mercado Eléctrico Mayorista.

**Transformador:** Máquina eléctrica que permite variar la fuerza electromotriz (voltaje).

**Volt.** Es la fuerza (magnitud física) que impulsa a los electrones a través de un conductor en un circuito cerrado, esto para que los electrones sean capaces de llegar a un punto determinado.

# CAPÍTULO 1

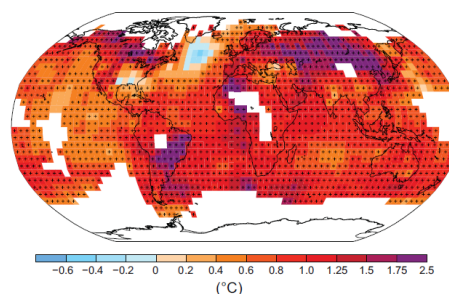
## INTRODUCCIÓN

El cambio climático es una consecuencia del efecto invernadero, este fenómeno significa la presencia de gases en la atmósfera como lo pueden ser, Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$  atmosférico), Metano ( $\text{CH}_4$ ), Óxido Nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), entre otros, llamados a su vez Gases de Efecto Invernadero (GEI). Estos gases absorben y emiten radiación dentro del rango infrarrojo. Manteniendo así una temperatura promedio en la atmósfera que oscila los  $15\text{ }^\circ\text{C}$ . Sin embargo, si la concentración de estos gases aumenta, también se incrementa la temperatura.

Además de las fuentes naturales que emiten GEI, las actividades realizadas por el ser humano (antropogénicas), son fuentes responsables de una considerable concentración de estos gases en la atmósfera, los cuales afectan al sistema climático del planeta al presentarse un calentamiento a escala global, es decir, hay una clara influencia humana para que dicho fenómeno se lleve a cabo, todo esto es de acuerdo con el Quinto Informe de Evaluación (Fifth Assessment Report, AR5) elaborado en 2013 por el Grupo I de Trabajo del Panel Intergubernamental de expertos sobre Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés). El reporte se basa en estudios realizados con mediciones directas obtenidas a partir de 1950 desde satélite y otras plataformas, asimismo existen observaciones a escala global de la era instrumental que comenzaron a mediados del siglo XIX, con las cuales se dilucidan las afectaciones que han sufrido los diferentes ecosistemas de la tierra, esto es: atmósfera, océanos, criósfera, y superficie terrestre. Particularmente el  $\text{CO}_2$  genera la mitad del efecto invernadero seguido de los Clorofluorocarbonos (CFC's) con el 20 %, y el Metano con el 15 %, (Creus A., 2014).

De acuerdo con lo anterior, la Figura 1.1 presenta las tendencias de temperatura que ha tenido la superficie de la tierra de 1901 a 2012, con base en un gran volumen de registros estadísticos y con un nivel de significancia del 10 %. Como se puede observar la temperatura ha variado hasta  $2.5\text{ }^\circ\text{C}$  en zonas como Asia, Norte y Sudamérica principalmente.

*Figura 1. 1. Cambio observado en la temperatura de la superficie 1901-2012*



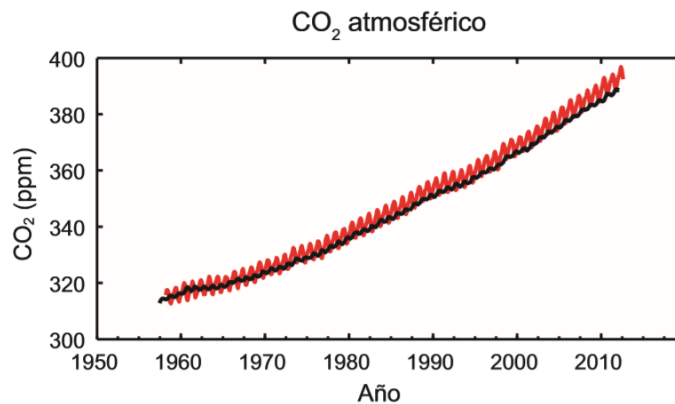
*Fuente: IPCC AR5, 2013.*

La principal causa antropogénica de la emisión de GEI es la quema de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural). Estas fuentes primarias de energía contienen carbono, elemento que se encuentra

en su estructura molecular. Al quemarse para producir energía el carbono se combina con el oxígeno de la atmósfera produciendo dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) el principal gas de efecto invernadero. La emisión de CO<sub>2</sub> de los combustibles fósiles depende del contenido de carbono. El carbón por ejemplo representó el 29 % de los combustibles utilizados en 2014 y generó el 46 % de las emisiones mundiales de CO<sub>2</sub>, de un total de 32.4 GtCO<sub>2</sub>; lo que representó un aumento del 0.8 % con respecto a los niveles de 2013 (AIE, 2016).

La tendencia de emisiones de CO<sub>2</sub> es creciente según se observa en la Figura 1.2, llegando a 399 ppm en 2010, aumentando así, cerca de 25% las concentraciones de este gas de 1960 a 2010. No obstante, de acuerdo con el último registro en 2015 ya se alcanzó una concentración de 400 ppm, (OMM, 2015).

*Figura 1. 2. Concentraciones atmosféricas de CO<sub>2</sub>.*



*Fuente: IPCC AR5, 2013.*

En el último reporte del IPCC (2014) se afirma claramente que el calentamiento en el sistema climático es inequívoco y, desde la década de 1950, muchos de los cambios observados no han tenido precedentes en los últimos decenios a milenios. La atmósfera y el océano se han calentado, los volúmenes de nieve y hielo han disminuido, el nivel del mar se ha elevado y las concentraciones de gases de efecto invernadero han aumentado.

El mismo reporte establece que las emisiones continuas de gases de efecto invernadero causarán un mayor calentamiento y nuevos cambios en todos los componentes del sistema climático. Para contener el cambio climático, será necesario reducir de forma sustancial y sostenida las emisiones de gases de efecto invernadero. Las emisiones de CO<sub>2</sub> acumuladas determinarán en gran medida el calentamiento medio global en superficie a finales del siglo XXI y posteriormente. La mayoría de los aspectos del cambio climático perdurarán durante muchos siglos, incluso aunque pararan las emisiones de CO<sub>2</sub>, lo que supone una notable inexorabilidad del cambio climático durante varios siglos, debido a las emisiones de CO<sub>2</sub> pasadas, presentes y futuras.

En 2015 se llevó a cabo en París la Conferencia de las Partes (COP21 por sus siglas en inglés), en esta reunión los 195 países que asistieron asumieron diferentes compromisos en busca de contrarrestar el Cambio Climático, teniendo como objetivo principal evitar que la temperatura global no aumente más de 1.5 °C, bajo un desarrollo sostenible<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> En este documento se utilizará el término desarrollo sostenible como equivalente a la definición de desarrollo sustentable.

Una de las estrategias más importantes para la reducción de emisiones de GEI es la sustitución del uso de fuentes fósiles por fuentes limpias y/o renovables<sup>2</sup>. Estas fuentes como la hidráulica, solar, eólica, biomasa, geotérmica, de las mareas, etc. no generan emisiones de GEI pues la generación de energía no parte de la combustión, incluso la energía nuclear también se considera energía limpia por esa misma razón. El incremento en la investigación y desarrollo de tecnologías que produzcan energía a partir de estas fuentes primarias, así como la producción y comercialización de las mismas, ha permitido que los costos de generación eléctrica de estas fuentes se vayan reduciendo, particularmente la solar y la eólica. Sin embargo, estas fuentes tienen la característica de que su generación depende de la disponibilidad de viento o de la radiación solar, por lo cual no producen energía de forma constante sino intermitente. Esta característica ha abierto diversas ramas de investigación tales como el almacenamiento de energía. En la siguiente sección se presentan las tendencias del consumo de energía en el mundo.

Ahora bien, para lograr la transición energética se han llevado a cabo diversas acciones a nivel mundial en los últimos años, en México se han realizado dos Reformas Energéticas en los años 2008 y 2013, buscando con ello el equilibrio entre el consumo de energía y el desarrollo sostenible, es decir, satisfacer la demanda energética haciendo un uso racional de los recursos. A través de mecanismos legales se ha intentado establecer una base que impulse el uso de fuentes de energía que conlleven un grado de afectación menor hacia el medio ambiente. Las fuentes de energía renovable han sobresalido y se han constituido como una solución alterna ante los grandes desafíos que enfrenta el mundo actual en materia de medio ambiente.

Las energías renovables representaron en 2015 el 13.4 % (IEA, 2016) de la matriz energética mundial y el 8.4 % en México (SENER, 2017), su principal uso ha sido en la generación de energía eléctrica, por tal razón en este trabajo se centró en el análisis de la industria eléctrica mexicana y sus perspectivas de desarrollo hasta 2024 principalmente. La evolución de las energías renovables dentro de la industria eléctrica y en especial la eólica y solar fotovoltaica, ha tenido un crecimiento casi exponencial en los últimos años. Las tendencias sugieren un crecimiento constante en las próximas décadas y serán de gran importancia para el impulso hacia la transición energética esperada.

Las acciones concretas que se ha planeado en México en cuanto al desarrollo de fuentes renovables están relacionadas prioritariamente con la reestructuración de la industria eléctrica, un sector que tradicionalmente era monopolizado por la Comisión Federal de Electricidad (CFE), empresa paraestatal que controlaba todas las actividades de la industria; y que con la Reforma Energética de 2013 se transformó en una empresa con ciertas atribuciones que competirá junto con otras empresas privadas en la producción y comercialización de la energía. Esto significa que en el sector eléctrico se estableció un Mercado Eléctrico Mayorista (MEM), con el fin de obtener primordialmente según el gobierno mexicano a través de la Secretaría de Energía (SENER), bajos precios en las tarifas de electricidad, y tener un sector eléctrico competitivo ante los nuevos retos tecnológicos y ambientales.

Ahora con la entrada en operación del MEM en teoría se podría dar cumplimiento a las metas y objetivos propuestos bajo el marco legal de la Reforma, es decir cada vez un mayor porcentaje de la generación eléctrica se obtendría a base de fuentes limpias de energía, lo que significaría bajo estas circunstancias una disminución sustancial en las emisiones de CO<sub>2</sub>.

---

<sup>2</sup> En este documento se utilizará indistintamente los términos de energías limpias y energías renovables, aunque los criterios de definición no sean los mismos, pero hay coincidencias en algunos términos, ya que dentro de la categoría de energías limpias se encuentran las renovables.

Los esfuerzos de la Secretaría de Energía se han enfocado al desarrollo de proyectos con fuentes limpias acelerando para ello la capacidad de generación de energía, lo que a su vez ha permitido potenciar su desarrollo en diferentes aspectos relacionados con la tecnología de aprovechamiento y sus costos asociados, y al mismo tiempo se ha podido encadenar una serie de factores que propician las condiciones necesarias para que se logre el objetivo principal de la transición. En los instrumentos de planeación de la SENER contienen prospectivas de desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (SEN) basado en el uso de estas fuentes, utilizando metodologías que pronostican tendencias de generación en un horizonte de tiempo más allá del año objetivo (2024) y que servirán de base para la definición de tipo de tecnología a utilizar en las Centrales Eléctricas a construir.

Fundamentalmente las metodologías que calculan escenarios de capacidad y generación toman como referencia, variables como demanda de energía y precios de combustibles a través de tiempo y en función de ellas se puede correlacionar con factores como emisiones de CO<sub>2</sub>. Asimismo, la metodología de cálculo de escenarios forma parte de un conjunto de estrategias de planeación llevadas a cabo por la SENER para así poder definir el rumbo que debe tener el sector eléctrico mexicano. No obstante, existen otras estrategias alternas que permiten solucionar la misma problemática, pero utilizando diferentes combinaciones en las variables de entrada (demanda, precios, etc.). Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es analizar el desarrollo de los proyectos de generación eléctrica y el entorno asociado a estos proyectos, tomando como referencia los resultados de dos estrategias de planeación energética para el cumplimiento de las metas de generación eléctrica establecidas por la SENER, las cuales están vinculados a los compromisos internacionales que tiene México en el mediano y largo plazo.

El contenido de esta tesis se conforma de 7 capítulos, posterior a la introducción, el Capítulo 2 muestra de forma resumida la relevancia que tienen las fuentes renovables dentro del sistema energético en México que busca transitar hacia un ambiente con menos emisiones de CO<sub>2</sub> y menos implicaciones negativas.

En el Capítulo 3 se explica de forma general la estructura del Sistema Eléctrico Nacional y la cadena de valor de la industria eléctrica mexicana, esto es la generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica, así como también se muestra un cálculo estimado de emisiones de GEI asociadas a la generación de energía.

En cuanto a el Capítulo 4 se aborda de forma general la nueva estructura de la industria eléctrica bajo el marco del Mercado Eléctrico Mayorista, con el fin de establecer las nuevas reglas de operación del Sistema Eléctrico Nacional y los productos que se comercializan para que éste funcione.

En el Capítulo 5 se muestra un análisis de las metodologías de cálculo de escenarios de capacidad y generación eléctrica tomados como referencia, el utilizado por SENER y uno alternativo llamado EnergyPLAN, contrastando los resultados para determinar la factibilidad del cumplimiento del objetivo de la transición energética al 2024.

En el Capítulo 6 se describen los factores de forma cualitativa que ayudarán a desarrollar los proyectos de generación eléctrica a través de fuentes renovables (principalmente Eólica y Solar Fotovoltaica) para así poder determinar si los escenarios de generación eléctrica se podrán alcanzar.

Por último, en el Capítulo 7 se definen los resultados y conclusiones con base en los escenarios de referencia obtenidos y los factores cualitativos identificados.

# CAPÍTULO 2

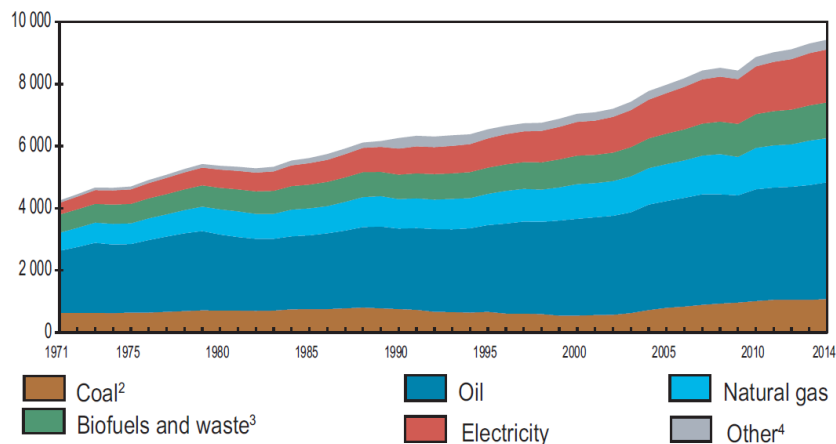
## LAS FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE EN MÉXICO Y SU IMPORTANCIA EN EL CAMBIO CLIMÁTICO

En este capítulo se definirán las fuentes de energía renovable y el papel que juega en la reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero, y por ende en la mitigación de los efectos del cambio climático. Asimismo, se describirá las acciones para el desarrollo de dichas fuentes dentro del sistema energético mexicano, asociadas a la Reforma Energética de 2013. Buscando así la dinámica de transición energética que se ha estado gestando a nivel mundial.

### 2.1 Breve resumen del consumo de energía mundial y las emisiones asociadas de GEI

El consumo mundial de energía en 2014 en total fue de 9,425 Millones de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep), dicho consumo prácticamente se duplicó comparándolo con el consumo que se tuvo en 1973, que fue de 4,661 Mtep, (IAE, 2016). Como se puede observar en la Figura 1.3, el combustible predominante ha sido el petróleo, llegando a representar hasta el 39.9 % del total de energéticos en 2014. No obstante, tuvo un descenso de 8.4 % si se compara con lo que aportaba en 1973, en cuanto a representación porcentual con respecto a los demás. La energía eléctrica y el gas natural han tenido cada vez una mayor participación en la matriz energética mundial.

Figura 2. 1. Consumo mundial total de energía final por combustible de 1971 a 2014.



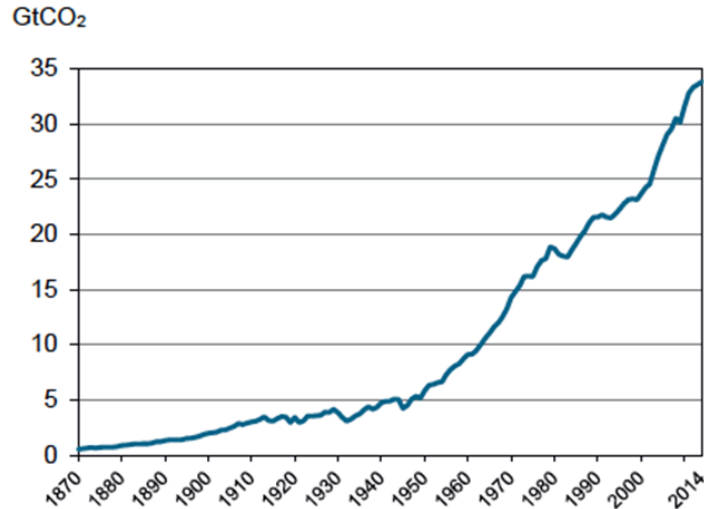
Fuente: International Energy Agency (IEA), 2016.

El uso de fuentes energéticas representa dos tercios de las emisiones totales de GEI y el 80 % de CO<sub>2</sub>. (AIE, 2011). En el último reporte de la Agencia Internacional de Energía acerca de las emisiones asociadas a la producción de CO<sub>2</sub> por fuentes de energía fósil (AIE, 2017), en 2015 los combustibles fósiles seguían

## 2. LAS FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE EN MÉXICO Y SU IMPORTANCIA EN EL CAMBIO CLIMÁTICO

representando el 82% del total de energía primaria, tan solo 4% menos que en 1971, lo cual ha representado un incremento constante de las emisiones como se muestra en la Figura 2.2.

Figura 2. 2. Tendencia de las emisiones mundiales de CO<sub>2</sub> asociadas a la producción de energía primaria en el mundo.



Fuente: AIE (2017). Fuente original: Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, US Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., United States.

La mayor parte del incremento de estas emisiones proviene de los países en desarrollo catalogados en el protocolo de Kioto como países no-Anexo 1, principalmente de China, que es hoy el país con mayores emisiones de GEI en todo el planeta (28%), seguido por Estados Unidos (15.5%), India (6%) y Rusia (5.6%). México representa el 1.3 % de las emisiones globales (AIE, 2017).

El 42 % de las emisiones de GEI en el planeta proviene de la generación de electricidad y calor (42%), seguida por el sector transporte con 24 % y a industria con 19 %. La generación de electricidad y calor tuvo un incremento en las emisiones de 7.8 GtCO<sub>2</sub> en 1971 a 13.8 GtCO<sub>2</sub> en 2015, principalmente debido al incremento en la producción de electricidad principalmente basada en el uso intensivo de carbón en China. Las emisiones mundiales de GEI asociadas a la generación de electricidad y calor aumentaron en 45 % entre 1990 y 2015 (Figura 2.3).

Existen cuatro formas de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> para la generación eléctrica, las cuales son la energía nuclear, las energías renovables, la eficiencia energética (disminuir la demanda) y la captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub>. En el primer caso los costos de inversión elevados y riesgos de accidentes han hecho que la energía nuclear disminuya su penetración. La captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub> aún no es una tecnología viable y por lo tanto las fuentes renovables y la eficiencia energética son las opciones más importantes para reducir las emisiones de GEI.

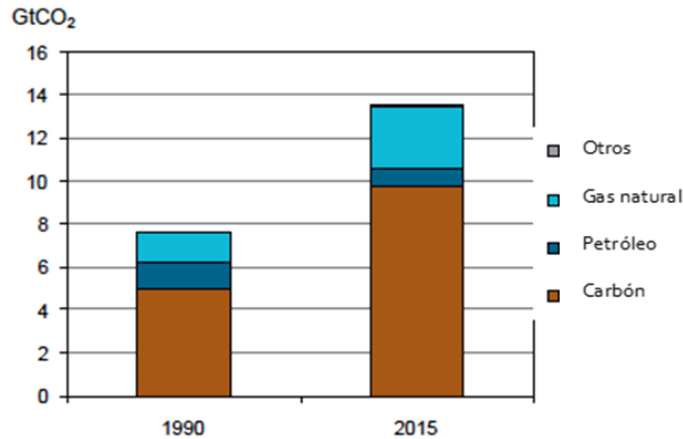
La AIE dentro de sus perspectivas energéticas anuales, calcula escenarios en función de las tendencias históricas del uso de combustibles a nivel mundial. Según los pronósticos encontrados, la presencia de las energías renovables aumentará trascendentalmente en las siguientes décadas. En la medida en la que se generaliza su uso, las subvenciones se reducirán de tal forma en que los gobiernos invertirán menos en el

## 2. LAS FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE EN MÉXICO Y SU IMPORTANCIA EN EL CAMBIO CLIMÁTICO

desarrollo de éstas y se dejará que el mercado de energía defina sus costos reales, volviéndose más rentables y con riesgos menores, dándole así un equilibrio sostenible por sí mismas.

Tan solo en 2015 el suministro total de energía primaria alcanzó los 13,647 Mtpé, de los cuales 1,823 Mtpé pertenecen a Energías Renovables.

Figura 2. 3. Emisiones mundiales de CO<sub>2</sub> por generación eléctrica y de calor.



Fuente: International Energy Agency (IEA), 2016.

### 2.2 Los costos de Energías Renovables

Una variable decisiva para el desarrollo de las Energías Renovables es sin lugar a duda el costo de la generación de energía. Diversos factores han incidido para que estos costos sean más competitivos principalmente las energías eólica y solar. Según estudios del Consejo Mundial de Energía (Cost of Energy Technologies 2013) los costos que impulsan a los proyectos de energías renovables son los costos de financiamiento, de operación, mantenimiento, de equipo e instalación, así como también el de combustible, todos estos engloban los costos reales de generación. Si la tecnología tiene un nivel de madurez mayor, los costos asociados a ella tienen una mejor definición y están más estructurados debido al estudio y experiencia que se van adquiriendo.

Cuando se habla de rentabilidad financiera en los proyectos de generación de energía eléctrica, se piensa en la utilidad que cada proyecto puede ofrecer, cuanto más grande sea dicha utilidad, el proyecto es más atractivo financieramente y por ende las inversiones crecen. El costo nivelado de energía determina el precio u.m<sup>3</sup> que debe de recibirse por unidad de producción de energía eléctrica, típicamente se utiliza como unidad monetaria el dólar americano y como unidad de energía eléctrica el MWh, por lo que la relación queda como USD/MWh. En este caso, el costo nivelado se establece como un parámetro de referencia de rentabilidad de un proyecto de generación de energía, en una variedad heterogénea de tecnologías que existen. Si el valor del costo nivelado de una tecnología es más bajo en comparación con otra, se puede considerar como un indicador de rentabilidad positivo, ya que cuesta menos producir un MWh y por lo tanto la utilidad es mayor si se invierte en ese proyecto.

Además de las variables que componen los costos nivelados, existen otros costos que no se incluyen en el cálculo, por lo que se establece un rango de costos por las variaciones no estimadas, como las

<sup>3</sup> Unidad monetaria



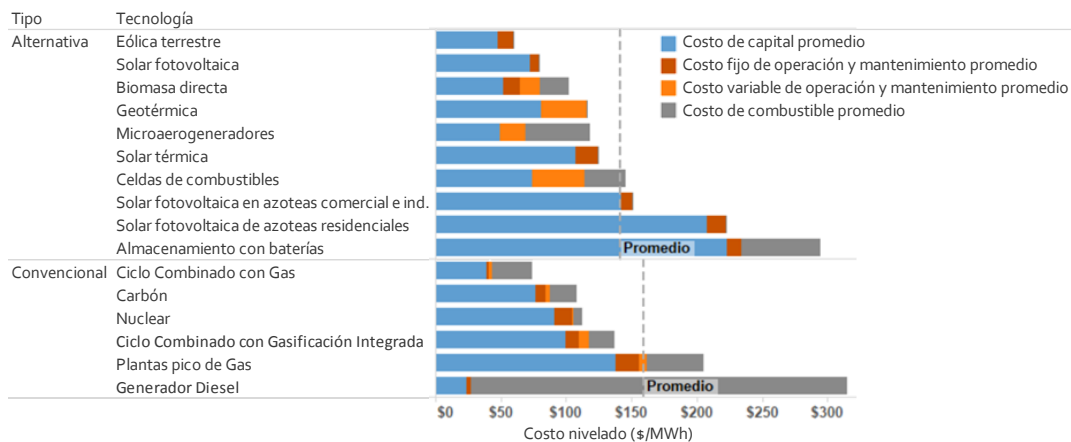
## 2. LAS FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE EN MÉXICO Y SU IMPORTANCIA EN EL CAMBIO CLIMÁTICO

externalidades ambientales y sociales que conlleva el uso de ciertas tecnologías, o las inversiones en el desarrollo de redes de transmisión para su integración al Sistema eléctrico, o incluso la inversión en la construcción de centrales de tecnología convencional para compensar la intermitencia de ciertas fuentes renovables.

No obstante, las tecnologías renovables que han presentado costos nivelados a la baja son la eólica y la solar fotovoltaica, por lo tanto, han sido las tecnologías que han aumentado su capacidad instalada de generación a nivel mundial.

En la Figura 2.4 se muestra una comparativa de costos nivelados en forma desagregada, de los cuales el costo de capital es el de mayor predominancia en las tecnologías alternas, no así para algunas tecnologías convencionales cuyo costo de combustible tiene una importancia considerable como por ejemplo en las centrales eléctricas que utilizan diesel en la generación.

Figura 2. 4. Componentes de costo nivelado de energía en 2014.



Fuente: Energy Innovation, 2017.

Las tendencias mundiales indican que la energía solar fotovoltaica y la eólica (terrestre) tendrán una mayor disminución en los costos de generación por lo menos hasta 2021. Esto debido a diversos factores entre ellos apoyos gubernamentales, desarrollo tecnológico y condiciones propias del mercado que se gestan en función de la evolución del uso de estas fuentes.

### 2.3 Reforma Energética de 2013

Para tratar de impulsar un desarrollo en el sector energético, el gobierno mexicano reformó la Constitución Política con el propósito de que el país aprovechara los recursos energéticos de forma racional, sustentable y con apego a los principios de soberanía nacional, eficiencia económica y beneficio social, según la vocería del gobierno de la república. Los objetivos principales que rigen dicha reforma son los siguientes:

- Contar con mayor capacidad energética y potenciar su uso
- Incrementar la renta petrolera y promover la generación de empleos formales
- Poseer insumos energéticos más baratos y que el país sea más competitivo
- Aumentar la producción de energía limpia y de bajo costo, y garantizar la protección del medio ambiente

## 2. LAS FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE EN MÉXICO Y SU IMPORTANCIA EN EL CAMBIO CLIMÁTICO

La reforma está conformada entre otros aspectos por mecanismos que buscan fomentar el uso de energías renovables; y estos pueden ser planes, estrategias, programas, lineamientos y normas, los cuales se enlistan en la Figura 2.5.

Figura 2. 5. Mecanismos y políticas de fomento de energías renovables.

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

Fuente: *Prospectiva de Energías Renovables 2016-2030, SENER 2016.*

La dependencia hacia los combustibles fósiles ha sido una constante en casi cualquier sistema energético del mundo, y en México no es la excepción, las implicaciones por el uso de estos combustibles recaen en diversas externalidades negativas, principalmente en el aspecto ambiental y social. Por tal razón, el país intenta contrarrestar dichos efectos perjudiciales con una política energética que busca la sostenibilidad y al mismo tiempo intenta transitar de un sistema energético en el que prevalece la utilización de fuentes fósiles hacia un sistema de mayor participación de fuentes de energías limpias, tomando como plataforma impulsora la transferencia e innovación tecnológica.

Por ende, el gobierno de México creó en 2012 la Ley General de Cambio Climático (LGCC) y la Ley de Transición Energética (LTE) en 2013. La Ley General de Cambio Climático en términos generales sienta las bases estratégicas y políticas públicas a realizar por parte de todos los entes gubernamentales en sus diferentes niveles, que estén involucrados con el ambiente y todos sus aspectos relacionados, con el fin de iniciar una adaptación al cambio climático y la mitigación de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero. Con ello se busca estabilizar las concentraciones de estos gases y compuestos en la

## 2. LAS FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE EN MÉXICO Y SU IMPORTANCIA EN EL CAMBIO CLIMÁTICO

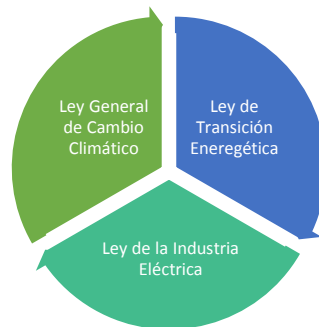
atmósfera considerando lo previsto por el artículo 2° de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y demás disposiciones derivadas de la misma, (LGCC, 2016).

Por su parte, una de las acciones que coadyuva a la disminución de emisiones de gases y compuestos, es la utilización de fuentes de energía limpias, es por ello por lo que se ha impulsado a través de diferentes mecanismos legales su utilización, para así tener una matriz energética más heterogénea. Bajo este panorama, se estableció la Ley de Transición Energética, la cual precede a lo que fue la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE) emitida en 2008 y derogada totalmente el 24 de diciembre de 2015. En ambas leyes se planteó una promoción más abierta y estructurada de la utilización de energías limpias y un mayor aprovechamiento de las renovables.

El objetivo tanto de la LGCC y la LTE es el de obtener un sistema energético sostenible, eficiente y funcional que dé seguridad energética al país, y que ofrezca una compatibilidad equilibrada con el medio ambiente, entre otras virtudes. Para lograrlo, fue conveniente complementar el marco legal que rige al sector energético, con una ley que se enfocara a la industria que provee al energético más representativo de cualquier sistema, es decir, la Ley de la Industria Eléctrica (LIE), esta ley se rige bajo directrices generales de las dos leyes anteriores y que han sido homologadas entre sí para ser aplicadas al sector en cuestión; con estrategias, metas y líneas de acción sectoriales en común.

De esta manera se conforma un marco legal e institucional integrado e incluyente que aspira encaminar un sistema energético con un alto contenido de carbono hacia uno más bajo.

*Figura 2. 6. Marco Legal del Sistema Energético Mexicano.*



*Fuente: Elaboración propia.*

De la Ley de Transición Energética se desprende primordialmente una de las metas más ambiciosas que se ha planteado en México dentro del sector energético, vinculado al medio ambiente y que va acorde con la decisión que se tomó a partir de la participación en la COP21 en 2015. Por lo que la SENER fijó como meta una participación mínima de energías limpias en la generación de energía eléctrica del 25 % para el año 2018, del 30 % para 2021 y del 35 % para 2024. La meta es casi equiparable a las pretendidas en países europeos como Alemania y España; y superior a las metas a las que aspiran países latinoamericanos como Chile y Argentina (SRE, 2015.)

Para alcanzar las metas propuestas, el estado mexicano debe dotar todos los instrumentos legales, regulatorios y fiscales a las instituciones de gobierno involucradas, ya sea Secretaría de Energía, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Comisión Reguladora de Energía

## 2. LAS FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE EN MÉXICO Y SU IMPORTANCIA EN EL CAMBIO CLIMÁTICO

(CRE), el Centro Nacional de Control de Energía (CENACE), o la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE), para poder planear, implementar, evaluar y corregir las líneas de acción, es decir los planes, programas y metas que diseñen cada una de estas entidades según sea el caso que corresponda.

### 2-4 Sistema Energético en México

#### 2.4.1 Fuentes y consumo de energía en diferentes sectores del país

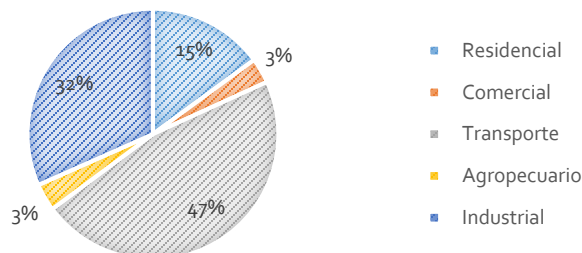
La producción y el consumo de energía conlleva una serie de actividades complejas que implican el desarrollo de una enorme infraestructura y un uso intensivo de recursos humanos, materiales, económicos, productivos y tecnológicos, que al integrarse conforman un sistema cuya finalidad es satisfacer la demanda energética en todos sus usos. Es relevante identificar el tipo de energía utilizada en las diferentes fases de un sistema energético. De modo que, a la energía obtenida para cumplir con una demanda específica de un usuario o consumidor, ya sea de fuentes fósiles (carbón, petróleo crudo y condensados), renovables o inclusive nuclear, se le llama energía primaria. Si a esta energía primaria se le transporta a un centro de transformación para obtener mediante alguna tecnología, otro tipo de energético ya sea gas natural, petrolíferos, energía eléctrica o energía en forma de calor; y al suministrarla a cualquier otro usuario que la requiera, se le denominará energía secundaria.

Los consumidores pueden ser todo tipo de industrias, puede utilizarse en el sector transporte, así como también existen usuarios residenciales, o consumidores que realizan producción agrícola; o bien puede haber consumidores que lleven a cabo actividades de comercio; entre otras actividades productivas.

Con el aumento de las actividades económicas en el país, la demanda de energía ha sido cada vez más creciente, de 2006 a 2015 el consumo final total se elevó un 12.5 % pasando de los 4,694 a los 5,283.12 [petajoules]. El sector que tuvo un mayor crecimiento en este periodo en cuanto a consumo fue el sector agropecuario con un 41.4 %, seguido de las actividades comerciales con el 33 %, y el transporte y la industria con el 16.7 y 10.4 % respectivamente, (SENER, 2010).

No obstante, el sector Transporte ocupó el primer lugar en consumo de energía en 2015, acaparando casi la mitad del consumo nacional con el 47 %, posteriormente la industria consumió el 32 % y el 15 % el sector residencial, por último, tanto el sector Comercial como el Agropecuario consumieron el 3 % cada uno en ese mismo año.

Figura 2. 7. Porcentajes de consumo de energía por sector en 2015.



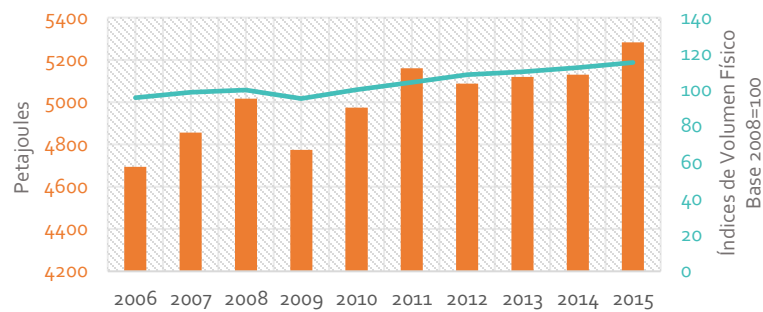
Fuente: Elaboración propia con información de Sistema de Información Energética (SENER), 2010.

## 2. LAS FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE EN MÉXICO Y SU IMPORTANCIA EN EL CAMBIO CLIMÁTICO

Existe una relación intrínseca entre la producción y el consumo de energía, la variación de producción conlleva una variación en el uso de la energía, y por lo tanto sus tendencias muestran un comportamiento relativamente equiparable.

Comparando el consumo final total de energía con un Indicador Global de la Actividad Económica (IGAE), que permite conocer y dar seguimiento a la evolución del sector real de la economía, se puede reconocer una similitud en sus variaciones a lo largo del tiempo. En este sentido se toma al IGAE como parámetro de referencia para representar el valor de la producción total en México, es decir al Producto Interno Bruto (PIB), cuya magnitud engloba el valor en términos monetarios de toda la producción diversificada, asociada a las diferentes actividades económicas existentes. Para medir el IGAE, se emplean Índices de Volumen Físico con base fija en el año 2008=100 (INEGI, 2016).

Figura 2. 8. Consumo final total de energía en México vs Indicador Global de la Actividad Económica (IGAE).



Fuente: Elaboración propia con información de Sistema de Información Energética (SENER), 2010 e INEGI, 2016.

Por otro lado, las actividades económicas y productivas de México condicionan a un uso intensivo de energía que provoca cambios significativos en el sistema de energía que afecta regional y nacionalmente. Fuentes de energía que tradicionalmente eran hegemónicas (hidrocarburos), están siendo sustituidas paulatinamente por energías que asumen un papel cada vez más prioritario (renovables), aunque todavía falta mucho para poder revertir dicha predominancia. Sin embargo, esto trae como consecuencia una adaptación en diferentes ámbitos de los sistemas de energía, a nivel infraestructura, tecnológico, e inclusive en la forma de generar energía, al convertir en pequeña escala a consumidores en productores de la misma, lo que se conoce como generación distribuida. En cierta forma la tendencia es la descentralización del sistema energético en subsistemas de generación para lograr alcances de satisfacción todavía aún mayores.

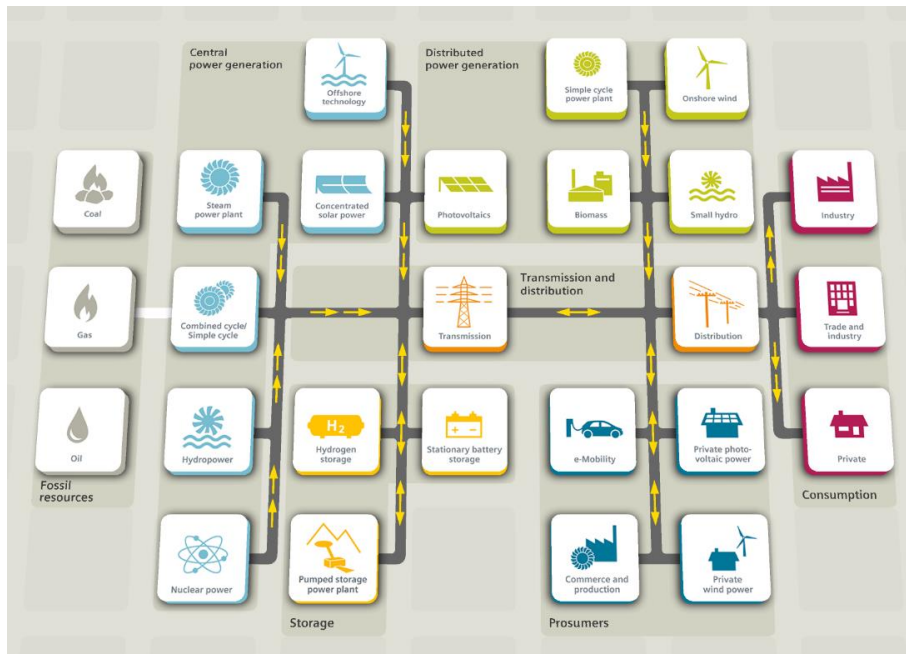
El estado ideal de cualquier sistema energético es el aprovechamiento y abastecimiento de las fuentes de energía para satisfacer la demanda interna de cualquier país, bajo un enfoque de racionalidad energética y con un sentido de responsabilidad hacia el medio ambiente. Sería muy complicado poder realizar lo anterior contemplando únicamente a los hidrocarburos dentro de la matriz energética que solucione ese gran reto, para tal efecto las energías renovables demuestran ser una opción más plausible que pueda integrarse conforme a las políticas energéticas que se han estado creando en diversos países.

Con el desarrollo y la implementación de tecnologías que permiten optimizar los sistemas de energía, como el almacenamiento de Hidrogeno, la acumulación de energía hidráulica por bombeo, o el almacenamiento de energía eléctrica con baterías, la transición hacia un sistema flexible que gestione los recursos energéticos de forma más eficiente será posible en el mediano y largo plazo, y se tendrían más oportunidades de éxito de obtener el estado deseado.

## 2. LAS FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE EN MÉXICO Y SU IMPORTANCIA EN EL CAMBIO CLIMÁTICO

En el esquema de la Figura 2.9 se muestra un sistema genérico basado en energía eléctrica, en el que se visualiza de forma sintética los flujos de energía y los actores involucrados para que este funcione de acuerdo con su diseño. En síntesis, un sistema energético está compuesto por las fuentes de energía primaria que son transformadas a través de diversas tecnologías en energía secundaria dispuesta para los diferentes usuarios finales que la demandan, la principal fuente demandada es la electricidad, por lo que los procesos que encadenan las diferentes actividades de transformación de energía eléctrica son la generación, la transmisión y distribución, y en algunos sistemas se incluye el almacenamiento para incrementar la eficiencia del sistema, teniendo como usuarios finales se tiene a la industria, el comercio y el sector residencial.

Figura 2.9. Esquema general de un Sistema de energía eléctrica



Fuente: Siemens, 2014.

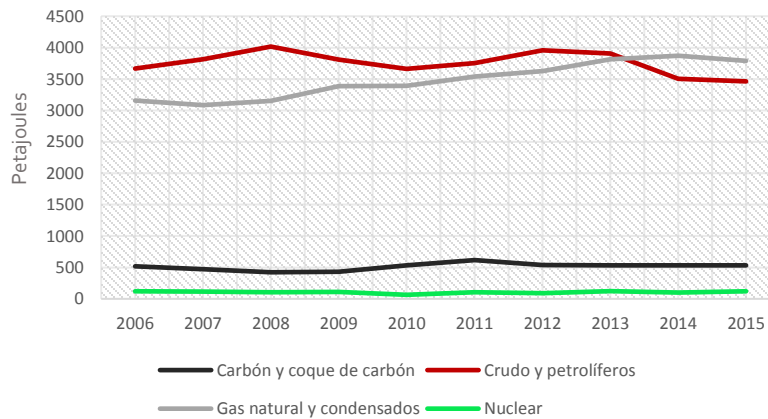
### 2.4.2 Balance de energía

#### 2.4.2.1 Oferta interna de energía primaria

Como ya es sabido los combustibles fósiles predominan en la oferta de energía primaria en México, puesto que representaron en 2015 el 91.2 %, a diferencia de las energías renovables que ocuparon solo el 7.5 %, y el 1.4 % para la energía nuclear. Con relación a los hidrocarburos, el petróleo crudo y los petrolíferos fueron hasta 2013 los energéticos más usados ocupando el 43.5 % del total de energía ofertada. A partir de ese año el gas natural y los condensados se posicionaron como los combustibles con mayor disponibilidad para su comercialización consiguiendo el 44.4 % hasta 2015. Muy por debajo de los otros combustibles fósiles se encuentra la oferta de carbón y de coque de carbón aportando en promedio el 6.1 % de 2006 a 2015. Por último, la energía nuclear representó en 2015 el 1.36 % de la oferta interna siendo de las energías no renovables que tiene la menor disponibilidad en la matriz energética de México.

## 2. LAS FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE EN MÉXICO Y SU IMPORTANCIA EN EL CAMBIO CLIMÁTICO

Figura 2. 10. Oferta interna bruta de energías no renovables.



Fuente: Elaboración propia con información de Sistema de Información Energética (SENER), 2010.

En cuanto a las energías renovables el energético con mayor oferta y por lo tanto el más empleado, ha sido la biomasa que en promedio de 2006 a 2015 tuvo una oferta de 357.69 [petajoules], lo cual significó un 4.23 %. Esto se puede explicar por el uso tanto de leña, carbón vegetal o residuos agrícolas en diversas regiones del país, teniendo aproximadamente 25 millones de usuarios entre el sector residencial y el industrial principalmente; por ejemplo, el 80 % de la energía consumida en hogares rurales proviene de la biomasa, (Maserá O. et al., 2010).

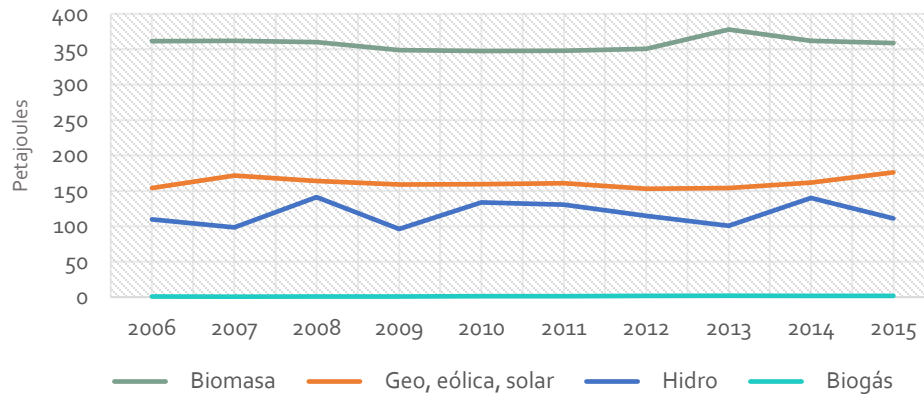
Por su parte, la energía geotérmica, la eólica y la solar juntas apenas representaron el 2.1 % en 2015 con una oferta de 176.16 [petajoules], esto muestra que, a pesar de ser opciones de energía viables con el mayor auge de desarrollo en los últimos años, todavía no son lo suficientemente representativas como para poder competir en cuanto a oferta energética disponible, si compara con los principales energéticos fósiles.

A pesar de que la energía hidráulica es relevante por la infraestructura y los grandes costos de inversión que ello implica, solo aportó en promedio el 1.39 % del total de energía ofertada llegando en 2014 a su máximo nivel con 140 petajoules.

El biogás es el energético de todos con menor presencia al obtener el 0.02 % en 2015 con 1.86 petajoules. Para que la producción del biogás aumente dependerá de una promoción más generalizada del desarrollo tecnológico como la digestión anaerobia (mezcla de gases con alto contenido de metano), puesto que son procesos ya establecidos y disponibles comercialmente en menor y mayor escala, (Huacuz J., 2015).

## 2. LAS FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE EN MÉXICO Y SU IMPORTANCIA EN EL CAMBIO CLIMÁTICO

Figura 2. 11. Oferta interna bruta de energías renovables.



Fuente: Elaboración propia con información de Sistema de Información Energética (SENER), 2010.

Existen factores que marcan diferencias importantes entre las energías renovables y las que no lo son, tales diferencias pueden explicar la razón por las que algunas predominan sobre otras. Una característica particular de los combustibles fósiles es la flexibilidad de uso, ya que son relativamente fácil de transportar, almacenar y en muchas ocasiones llegan a ser más eficientes energéticamente hablando con respecto algunas fuentes renovables, en este sentido existen muchas razones sobre todo económicas por las que todavía se prefiere hacer uso de las fuentes fósiles y por lo tanto se seguirán ofreciendo en el mercado de los sistemas de energía.

### 2.4.2.2 Importaciones y exportaciones de energía

Para que el sistema energético ofrezca seguridad y confiabilidad, es decir que se tenga la certeza de que siempre habrá disponibilidad de energía en todo momento, debe haber un balance entre oferta y demanda. Es común que existan países que no tienen autarquía energética, puesto que no cuentan con disponibilidad interna de diversos tipos de fuentes de energía para lograr cubrir las necesidades que requieran sus actividades. Para ello es necesario cubrir el déficit energético en el comercio exterior, o si es el caso, se puede obtener beneficios económicos si se cuenta con un excedente de algún energético que tenga las condiciones necesarias para poderlo posicionar en el mercado internacional.

Bajo este panorama, México realiza importación de energéticos que necesita dentro de su sistema; y exporta energía cuando posee un superávit de estos energéticos y resulta conveniente comercializarla en el exterior.

Respecto a la balanza comercial de energías primarias es notoria la disponibilidad que tiene el país para vender en el mercado externo, el caso muy concreto es el petróleo crudo, cuya comercialización atrae rendimientos económicos significativos para la nación. Sin embargo, las exportaciones de crudo han ido a la baja en los últimos años, si se contabiliza como energía en 2006 se exportaron 4,031.66 petajoules, ya para 2015 solo se pudo exportar 2,631.49 petajoules, lo que significó una caída del 34.7 % en términos globales.

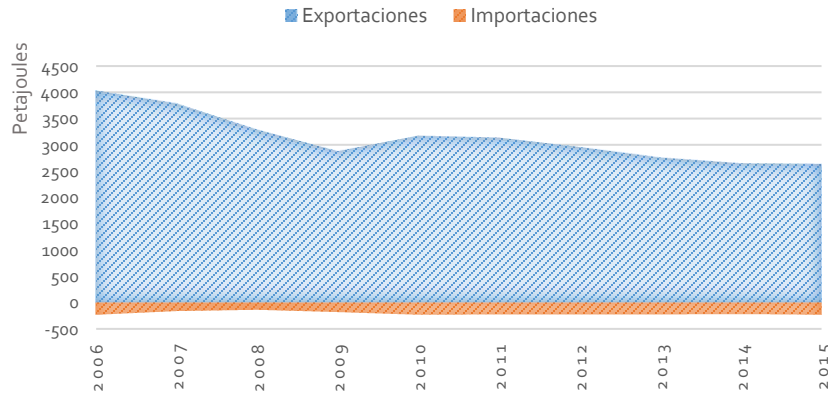
En menor proporción la importación de carbón mineral es necesaria para satisfacer las múltiples necesidades internas de este energético. En promedio, se tuvo un nivel de importación de energías



## 2. LAS FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE EN MÉXICO Y SU IMPORTANCIA EN EL CAMBIO CLIMÁTICO

primarias de 199.67 [petajoules], los cuales corresponden únicamente al carbón, ya que solamente este energético se importa.

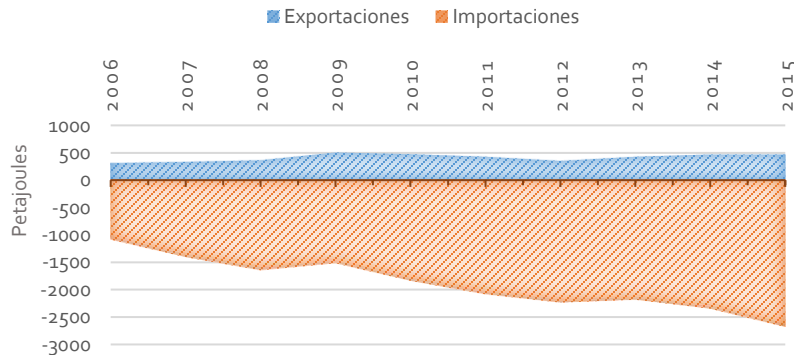
Figura 2. 12. Balanza comercial de energía primaria.



Fuente: Elaboración propia con información de Sistema de Información Energética (SENER), 2010.

No obstante, cuando se refiere a energía secundaria la tendencia es inversa a la energía primaria, puesto que las importaciones sobrepasan si se comparan con las exportaciones, específicamente con la gasolina y el gas natural, porque ambos representaron el 68.2 % de las importaciones totales de energía en 2015. Lo cual demuestra una clara dependencia externa hacia estos combustibles; que se encuentra incrustada en el mercado estadounidense cuya relación comercial se rige de forma natural por el vínculo estrecho que existe entre ambos países.

Figura 2. 13. Balanza comercial de energía secundaria.



Fuente: Elaboración propia con información de Sistema de Información Energética (SENER), 2010.

## 2.5 Fuentes de Energía Renovable en México

Es una ventaja sobresaliente que cualquier país posea una alta disponibilidad de fuentes de energías, y más aún si se tratan de energías renovables si se piensa en un ambiente sostenible. En particular México cuenta con un gran potencial de aprovechamiento de este tipo de energías, tanto solar, eólica, geotérmica, hidráulica, biomasa e inclusive oceánica, a pesar de que todavía no se aprovecha a gran escala hasta ahora. El hecho de que el país disponga de diversas fuentes de energía fortalece al sistema energético al otorgar seguridad y autosuficiencia energética.

Así entonces, el principal uso de las energías renovables en el país es para la generación de energía eléctrica, posteriormente los usos térmicos representan el segundo lugar, a través de la biomasa (leña y bagazo de caña), también de la energía solar y la geotermia, teniendo como uso final la calefacción y la refrigeración en la industria y en hogares, (SENER, 2012).

Las características fundamentales de las energías renovables por las que tienen una aceptación generalizada y un alto impacto positivo son:

- Fuentes energéticas robustas con una disponibilidad prácticamente ilimitada.
- Impacto ambiental reducido con menos externalidades negativas respecto a las fuentes fósiles.
- Emisión de GEI prácticamente nulas.
- Diversidad de fuentes energéticas aprovechables (sol, agua, viento, etc.).
- Posibilidad de almacenarla bajo ciertas condiciones (biomasa).

Sin embargo, existen contrariedades en la utilización de tales fuentes, por ejemplo:

- Intermittencia o inestabilidad en la utilización de la energía en algunos casos (energía eólica).
- Disponibilidad impredecible que impide su aprovechamiento óptimo.
- Eficiencia tecnológica relativamente baja en algunos procesos de transformación de energía, por ejemplo, la energía fotovoltaica.
- Costos de producción de energía menos competitivos en comparación con algunas fuentes fósiles.

### 2.5.1 Disponibilidad de recursos energéticos

#### 2.5.1.1 Inventario Nacional de Energías Renovables

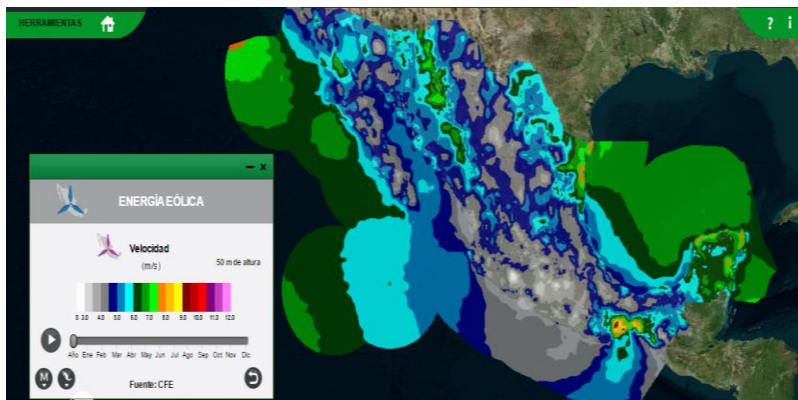
En concordancia con la Ley de Transición Energética, la Secretaría de Energía en 2015 realizó un Inventario Nacional de Energías Renovables (INERE), con el fin de obtener un sistema de servicios de información que permita identificar las regiones geográficas del país que cuentan con el mayor potencial de aprovechamiento de energías renovables, para así poder desarrollar proyectos que pretendan explotar los recursos primarios de energía estimados. Además, el INERE permite mediante una plataforma de acceso público poder visualizar gráficamente las Centrales de generación de energía eléctrica de tecnología renovable, que se encuentran actualmente operando en el territorio nacional. Si se compara la capacidad de generación con el potencial de aprovechamiento se puede apreciar una brecha todavía significativa entre ambos parámetros. En este sentido, los proyectos de generación de energía dependen de varios factores para que se puedan implementar, como puede ser las inversiones económicas en gran escala, el grado de avance tecnológico, y el estado de las políticas energéticas, etc., (SENER, 2012).

## 2. LAS FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE EN MÉXICO Y SU IMPORTANCIA EN EL CAMBIO CLIMÁTICO

Así pues, existen las condiciones ideales en ciertas regiones del país para poder desarrollar proyectos que usen fuentes renovables. Estas regiones se clasifican en función del grado de intensidad de energía presente en el ambiente a través de parámetros de referencia, es decir, si se trata de energía eólica se toma como parámetro común la velocidad del viento para saber si es posible aprovecharla en términos operativos favorables, utilizando como unidad de medida [m/s]. Asimismo, si se desea saber el grado de aprovechamiento de la energía solar, el parámetro a utilizar es la irradiación solar, y se mide como [W/m<sup>2</sup>], puesto que calcula la potencia incidente sobre superficie de área. De igual manera existen parámetros que permiten determinar la posibilidad de utilizar otro tipo de fuentes energéticas, por ejemplo, la temperatura de subsuelo si se alude a la energía geotérmica, o regiones hidrológicas y cuencas hidrográficas si se desea analizar los recursos hidráulicos.

Ahora bien, según estimaciones de la Comisión Federal de Electricidad, las regiones con mejores condiciones de aprovechamiento bajo el parámetro de velocidad, son las regiones que corresponden a perfiles de viento de entre 5 y 6 [m/s] y a diferentes alturas (30, 50, 80 y 120 m), tanto en tierra como en costa afuera, generalmente estos perfiles se pueden encontrar en los estados del norte del país, aunque, en la zona del Istmo de Tehuantepec en Oaxaca, es una zona con un alto potencial por explotar (Figura 2.14).

Figura 2. 14. Inventario del potencial de energía eólica.

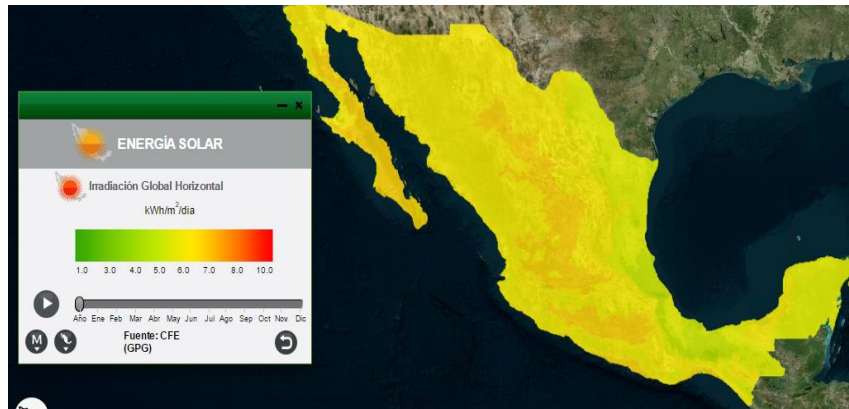


Fuente: SENER (INERE), 2015.

Por su parte, los niveles de irradiación solar más idóneos para considerar su uso, también se encuentran en la zona norte de México destacando a estados como Chihuahua o Sonora cuyo potencial de generación anual puede alcanzar hasta los 3,694 y 3,551 [GWh/a], respectivamente; y una irradiación global horizontal<sup>4</sup> de entre 6 y 7 [kWh/m<sup>2</sup>/a] (SENER, INERE 2015).

<sup>4</sup> Es la radiación que llega a la superficie de la tierra tomando en cuenta un cambio en su trayectoria lineal desde el disco solar, debido a parámetros atmosféricos tales como nubosidad, presión barométrica, temperatura, humedad relativa y contenido de aerosoles.

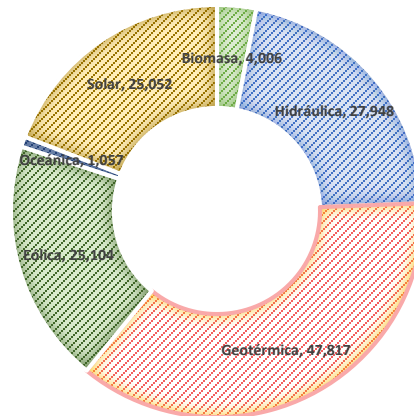
Figura 2. 15. Inventario del potencial de energía solar.



Fuente: SENER (INERE), 2015.

Según el INERE la energía Geotérmica es la más abundante en el país al ocupar 36.5 % del total disponible de energía anual, le siguen la Hidráulica, Eólica y Solar con 21.34 %, 19.17 %, 19.13 % respectivamente. La energía Oceánica es la de menos disponibilidad, puesto que apenas se identifica con 1,057 GWh/a, aunque se requiere de un mayor estudio para disponer de información más precisa de su potencial de aprovechamiento.

Figura 2. 16. Potencial de aprovechamiento identificado de Energías Renovables (GWh/a) en el país.



Fuente: SENER (INERE), 2015.

### 2.5.1.2 Atlas Nacional de Zonas con Alto Potencial de Energías Limpias

A la par del Inventario de Energías Renovables, la Secretaría de Energía desarrolló también el Atlas Nacional de Zonas con Alto Potencial de Energías Limpias, y lo define como un instrumento que permite identificar regiones geográficas del país en donde es más factible desarrollar proyectos que exploten los recursos energéticos en reserva. La información contenida está apoyada en una plataforma informática similar a la que se utiliza en INERE, sin embargo, la diferencia entre ambas es que en el Atlas se establecen 4 escenarios para cada fuente limpia (excepto hidroeléctrica y oceánica); y los datos de aprovechamiento

## 2. LAS FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE EN MÉXICO Y SU IMPORTANCIA EN EL CAMBIO CLIMÁTICO

que se pueden obtener en esta herramienta están en función de múltiples parámetros y restricciones que otorgan a los datos una mayor confiabilidad y construyen a su vez un sistema de información con más variables de análisis que les servirá a las empresas generadoras para desarrollar proyectos de generación por medio de Energías Limpias, sin embargo, los datos contenidos en el Atlas podría tener una mayor precisión con respecto a los del inventario, es por ello que difieren significativamente entre ambas.

Los potenciales al igual que en el INERE, se clasifican de forma muy similar como se hace con el petróleo, por ejemplo, cuando se tienen las condiciones para que el proyecto tenga un grado de certidumbre alto en términos de éxito, es decir que los estudios técnicos y económicos demuestran la factibilidad de generación, se dice que el potencial es probado, puesto que la fuente es competitiva en relación con otras, hay disponibilidad de conexión a la red en la zona identificada, y la evolución del consumo y de los precios de la energía a través del tiempo permiten comprobar su alta factibilidad.

En cuanto a los potenciales probables, se distinguen porque en ellos se consideran factores técnicos, como la disponibilidad del recurso, temperatura, latitud, altitud, entre otros, pero no se tienen los suficientes estudios técnicos y económicos para comprobar su factibilidad.

Por último, los potenciales posibles están basados en estimaciones teóricas principalmente, aunque también se incluyen a detalle ciertos criterios técnicos de aprovechamiento, (SENER, 2017).

Con base en la definición de los tipos de potenciales, la plataforma muestra gráficamente cada uno de los escenarios en capas sombreadas de diferentes tonalidades y también muestra la ubicación aproximada de las áreas disponibles para el aprovechamiento de la energía seleccionada, concretamente en la Figura 2.17 se puede visualizar las zonas de los potenciales de energía solar fotovoltaica fija<sup>5</sup>, la tendencia es encontrar áreas con mayor potencial en los estados del norte del país, como en Sonora, Chihuahua, Coahuila y Durango.

*Figura 2. 17. Zonas disponibles con alto potencial de aprovechamiento de energía solar fotovoltaica fija.*



*Fuente: SENER (AZEL), 2017.*

Cuando se compilan los datos por cada escenario (Tabla 2.1), se puede observar una relación proporcional entre las variables de estudio, es decir cuanto más grande sea el área disponible mayor será la capacidad instalable y el potencial de generación, y como consecuencia el total de emisiones de CO<sub>2</sub> que se puedan evitar, si se compara con la tecnología fósil que es más factible que se sustituya en la medida que se

<sup>5</sup> Se consideró la tecnología fotovoltaica fija, ya que actualmente es la que predomina en las Centrales Eléctricas

## 2. LAS FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE EN MÉXICO Y SU IMPORTANCIA EN EL CAMBIO CLIMÁTICO

construyan más Centrales solares y eólicas, es decir las Centrales de Ciclo Combinado, por lo que se podrían obtener valores de emisiones de CO<sub>2</sub> evitables como se muestran en las Tablas 2.1 y 2.2.

Tabla 2. 1. Potencial solar FV aprovechable de México (solar fijo).

| Escenario | Área disponible [km <sup>2</sup> ] | Capacidad instalable [MW] | Potencial de generación [GWh/a] | Emisiones de CO <sub>2</sub> evitables [Mt/a] |
|-----------|------------------------------------|---------------------------|---------------------------------|---|
| 1         | 511,174                            | 1,171,881                 | 2,121,803                       | 885.3   |
| 2         | 275,039                            | 639,420                   | 1,156,286                       | 482.5   |
| 3         | 59,609                             | 139,000                   | 252,545                         | 105.4   |
| 4         | 204,297                            | 462,279                   | 837,560                         | 349.5   |

Fuente: SENER (AZEL), 2017.

El mapa de zonas disponibles de recursos eólicos muestra que los estados de Tamaulipas y Oaxaca disponen en mayor cantidad de este energético, en general el noreste de México dispone de gran potencial eólico.

Figura 2. 18. Zonas disponibles con alto potencial de aprovechamiento de energía eólica.



Fuente: SENER (AZEL), 2017.

Existe también una proporcionalidad entre las variables de estudio de cada escenario, por ejemplo, si se duplica el valor de un área disponible prácticamente se dobla la cantidad en capacidad instalable, en potencial y en emisiones evitables de CO<sub>2</sub>, (Tabla 2.2).

Tabla 2. 2 Potencial eólico aprovechable de México.

| Escenario | Área disponible [km <sup>2</sup> ] | Capacidad instalable [MW] | Potencial de generación [GWh/a] | Emisiones de CO <sub>2</sub> evitables [Mt/a] |
|-----------|------------------------------------|---------------------------|---------------------------------|---|
| 1         | 302,331                            | 583,200                   | 1,486,713                       | 620.3   |
| 2         | 150,465                            | 290,249                   | 740,332                         | 308.9   |
| 3         | 82,064                             | 158,302                   | 402,847                         | 168.1   |
| 4         | 154,195                            | 297,444                   | 750,186                         | 313.0   |

Fuente: SENER (AZEL), 2017.

# CAPÍTULO 3

## EL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL

Con respecto a este capítulo se explicará de forma general la estructura del Sistema Eléctrico Nacional, y la manera en que se integra al sistema de energía del país. Describiendo a su vez el proceso y los componentes de la cadena de valor de la industria eléctrica, desde la generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica. Aunado a un cálculo de emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a la generación eléctrica en el país.

### 3.1 Sistema Eléctrico

Hoy en día la energía eléctrica es imprescindible en cualquier actividad cotidiana, ya que posee diversos usos finales que hacen que constantemente se busquen todos los medios para poder transformar diferentes fuentes primarias de energía para obtenerla, y así satisfacer la demanda cada vez más creciente de un gran volumen de consumidores.

Se puede utilizar al igual que los otros energéticos en actividades relacionadas con la industria, el transporte, el sector residencial, etc., en este sentido, físicamente con esta energía se es capaz de generar trabajo en sus diversas formas; también, su uso puede ser para iluminación, aunado a lo que equipos eléctricos y electrónicos empleados en dichas actividades, entre otros.

Esto significa que es un energético insustituible, por lo menos con la tecnología con la que se dispone hasta ahora. Y dado que es un tipo de energía única, no tan fácil todavía de almacenar por lo que representa sus propiedades físicas (flujo de electrones)<sup>6</sup>, es necesario la creación de un medio que permita utilizarla prácticamente al mismo instante en el que se genera. Es decir, se debe construir una red que pueda transmitir el flujo de electrones, a través de un conductor desde una fuente generadora hasta un sitio en el que se consuma. Por lo tanto, al desarrollo de una red interconectada para transmitir energía eléctrica de un lugar a otro, se le denomina como sistema eléctrico, y al mismo tiempo se encuentra integrado al sistema energético.

Los sistemas eléctricos pueden ser tan complejos como se pretendan diseñar, en función de las necesidades que se tengan que cubrir. Las tres fases fundamentales de cualquier sistema eléctrico comprenden a: la generación, transmisión, y distribución de energía.

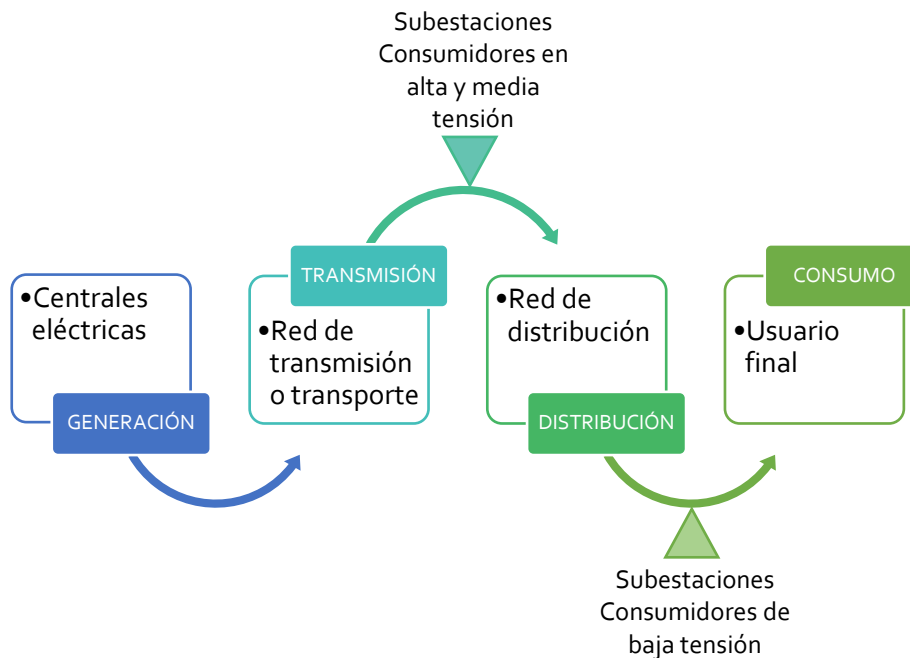
En la primera fase se requiere una Central Eléctrica que convierta o transforme alguna fuente de energía primaria en energía eléctrica, dicha Central es una instalación que integra diversos equipos tecnológicos cuyo grado de complejidad depende de la fuente energética que busca transformar, tal y como puede ser, una central termoeléctrica de ciclo combinado, una Central Fotovoltaica, o hasta un parque eólico.

---

<sup>6</sup> Los Sistemas de Almacenamiento de Energía normalmente se basan en la acumulación de otras formas de energía (hidráulica, mecánica, electromagnética, electroquímica, cinética, etc.)

Al mismo tiempo en que se genera la energía eléctrica, se debe contar con una red de transmisión que conduzca la energía de la Central generadora, hasta un centro de gran consumo o una estación que permita posteriormente como última fase técnica, distribuirla con menor potencia hacia un usuario final. En la Figura 3.1 se ejemplifica de forma general el proceso que conlleva un sistema eléctrico, y todas las actividades de operación y gestión que se tienen que desarrollar para balancear la demanda con la oferta de energía. Esto implica la creación de infraestructura en Centrales Eléctricas, Redes de transporte y distribución malladas; y Centros de Carga o Subestaciones que interconectan las líneas malladas de dichas redes, entre otros equipos y dispositivos (Barrero F., 2004).

Figura 3. 1. Estructura de un Sistema Eléctrico.



Fuente: Elaboración propia con base en información de Barrero F., 2004.

Los consumidores de alta tensión son comúnmente las grandes industrias, a su vez hay consumidores también en media tensión y estos pueden ser industrias de menor capacidad, centros de comercio, entre otros.

### 3.2 Sistema Eléctrico Nacional

El Sistema Eléctrico Nacional, es un sistema conformado por 3 subsistemas, pero separados estratégicamente por la geografía del país. Dos de los tres subsistemas se encuentran en la península de Baja California. Uno se distribuye en Baja California, y otro en Baja California Sur. El otro subsistema y el de mayor capacidad es el Sistema Interconectado Nacional (SIN), el cual corresponde al resto del país, es decir, desde Puerto Peñasco hasta en el extremo sur del país en Cozumel. Juntos conforman el SEN, cuyo control y operación se encarga el CENACE (SENER, 2015).



Sin embargo, el CENACE controla el sistema dividiéndolo en 9 regiones en igual número de centros de control, distribuidos en puntos representativos de cada región. Hay 7 regiones que corresponden al SIN y los otros 2 a los subsistemas de la península de Baja California, (SENER, 2015).

Figura 3. 2. Regiones de control del Sistema Eléctrico Nacional (SEN).



Fuente: Elaboración propia con información de CENACE, 2017.

#### 3.2.1 Generación de energía eléctrica en México

El principal reto que tiene cualquier Sistema Eléctrico es el balance de la oferta y la demanda de energía, principalmente si se pretende empatarlas en tiempo real, es decir que se suministre la misma energía que se consume prácticamente al mismo tiempo, esto es sin duda una tarea muy complicada de realizar. No obstante, el SEN está diseñado para poder lograr esa labor, ya que técnicamente posee los requerimientos y la infraestructura necesaria. Así pues, cuando se hace referencia a la oferta de energía, inmediatamente se vincula con la generación de la misma, es decir con la cantidad de energía que se transforma en una central eléctrica para ser entregada o consumida por un usuario durante un determinado tiempo, por lo que la unidad de medida de esta variable son los watts (vatios) por hora Wh (potencia eléctrica multiplicada por tiempo). Esta variable se toma como referencia cuando se desea saber cuánta energía se consume en un periodo de tiempo, y es adoptada como una medida estándar en la industria eléctrica en general.

##### 3.2.1.1 Tecnologías de generación eléctrica

Las centrales eléctricas pueden generar energía a través de diferentes tecnologías o procesos de conversión, básicamente se pueden clasificar en dos grupos de centrales, las de tecnología denominadas por SENER como convencional que utilizan combustibles fósiles, y las de tecnologías limpias, las cuales emplean diferentes tipos de fuentes energéticas disponibles y aprovechadas en México, incluyendo nuclear, cogeneración eficiente y las energías renovables; y cada vez con mayor auge a la eólica y fotovoltaica.

Cabe destacar que dentro de la categoría de energías limpias existen una serie de criterios que permite definir si una Central Eléctrica pertenece o no a este grupo, pero principalmente se define como tecnología limpia de aquellas centrales que en el caso de que hubiera emisiones, no rebasen los límites

establecidos en las disposiciones reglamentarias que para tal efecto se expidan y que no emitan durante su funcionamiento emisiones de gases de efecto invernadero (LIE, 2014).<sup>7</sup>

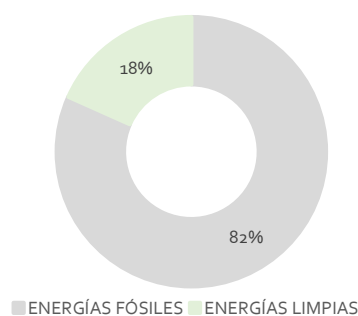
Figura 3. 3. Clasificación de Centrales Eléctricas por tecnología.



Fuente: Elaboración propia con información de Sistema de Información Energética (SENER), 2010.

En México existe una matriz energética para el sector eléctrico relativamente diversificada, no obstante, el parque de generación mayoritariamente (82%) contiene centrales que utilizan combustibles fósiles y en consecuencia solo casi una quinta parte de dicha generación proviene de fuentes limpias, lo que significa el 18 %.

Figura 3. 4. Generación bruta por tecnología.



Fuente: Elaboración propia con información de Sistema de Información Energética (SENER), 2010.

#### 3.2.1.2 Capacidad efectiva de generación eléctrica

Existen factores asociados al uso de cada tecnología de generación; y el grado de recurrencia hacia un tipo de tecnología en específico recae principalmente en el costo de generación. Dichos costos relacionan a su vez la capacidad de generación de una Central Eléctrica y la disponibilidad de la fuente de energía vinculada a la tecnología correspondiente.

En 2016, las tecnologías convencionales o de fuentes fósiles, representaron un 72.5% de la composición de generación eléctrica, el restante (27.5%) correspondió a fuentes de energías limpias, de las cuales

<sup>7</sup> Artículo 3, fracción XXII de la LIE

### 3. EL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL

24.6% fueron renovables y el 2.9 % corresponde a otras fuentes como la energía nuclear. La capacidad de generación en ese año fue de 55,559 [MW], esto significó un aumento del 2.1% respecto al año 2015, (Tabla 3.1).

Tabla 3. 1 Composición del parque de generación en 2015 y 2016.

| Tecnología      | Capacidad 2015 (MW) | Capacidad 2016 (MW) | TCA (%)    |
|-----------------|---------------------|---------------------|------------|
| <b>Fósil</b>    | <b>39,735</b>       | <b>40,279</b>       | <b>1.4</b> |
| Ciclo combinado | 19,918              | 20,530              | 3          |
| Termoeléctrica* | 14,439              | 14,371              | -0.5       |
| Carboeléctrica  | 5,378               | 5,378               | 0          |
| Duales          | 0                   | 0                   | 0          |
| <b>Limpia</b>   | <b>18,562</b>       | <b>19,378</b>       | <b>4.4</b> |
| Renovable       | 13,608              | 13,671              | 0.5        |
| Hidroeléctrica  | 12,027              | 12,092              | 0.5        |
| Eólica          | 699                 | 699                 | 0          |
| Geotérmica      | 874                 | 874                 | 0          |
| Solar           | 6                   | 6                   | 0          |
| Otras           | 1,510               | 1,608               | 15.2       |
| Nucleoeléctrica | 1,510               | 1,608               | 6.5        |
| Cogeneración    | 3444                | 4099                | 19         |
| <b>Total</b>    | <b>58,297</b>       | <b>59,657</b>       | <b>2.3</b> |

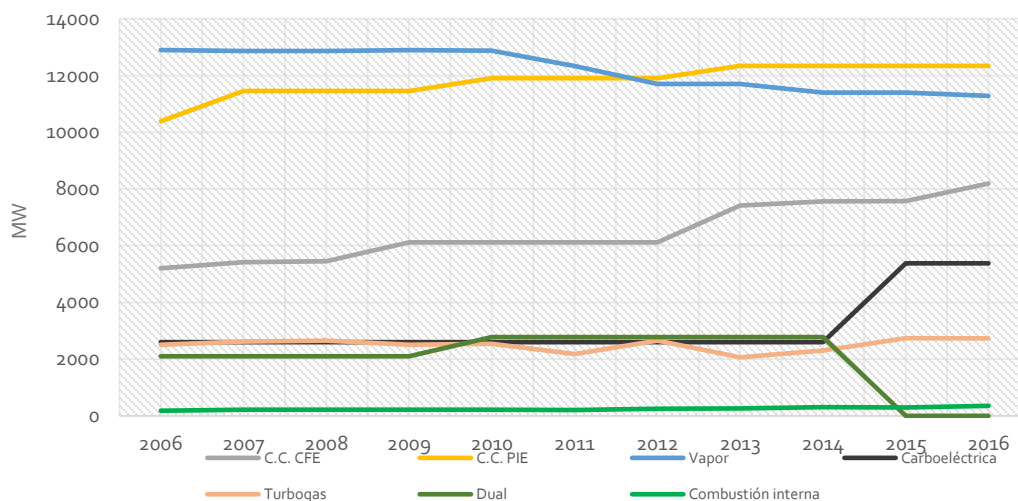
Fuente: Sistema de Información Energética (SENER), 2010; CRE, 2016.

#### 3.2.1.2.1 Capacidad de Centrales Eléctricas con fuentes fósiles (CFE)

Durante muchos años, la generación a través de Centrales Termoeléctricas ha tenido una mayor capacidad efectiva con respecto a las demás tecnologías de generación. Sin embargo, de 2006 a 2016 tuvo una Tasa Media de Crecimiento Anual (TMCA) de -0.8 % y una capacidad promedio de 14,950 MW, es decir ha tenido un ligero decremento en su capacidad de generación. Cabe destacar que la Centrales Termoeléctricas se componen de Centrales de Vapor, Turbogas y de Combustión Interna. Ahora bien, dentro de las fuentes fósiles las Centrales de Ciclo Combinado (C.C.) son las más representativas en cuanto capacidad efectiva se refiere, en promedio estas Centrales cuentan con una capacidad de 18,286 MW y una TMCA de 2.8 % de 2006 a 2016. Cabe mencionar que los Productores Independientes de Energía (PIE) poseen la mayor capacidad de Centrales de Ciclo Combinado, respecto a la CFE.

Las carboeléctricas por su parte, duplicaron su capacidad de 2014 a 2015, a diferencia de las Centrales Duales que la disminuyeron en esa misma proporción, lo cual significa que se sustituyó el combustóleo por el carbón. La capacidad efectiva de las Centrales de Turbogas se ha mantenido constantes en estos diez años con un promedio de 2,501 MW. En cambio, las Centrales de Vapor, aunque han tenido cierta importancia en capacidad ésta se ha visto disminuida ligeramente desde 2010 llegando a aportar 11,281 MW siendo ya la segunda central en capacidad sólo después de las Centrales de Ciclo Combinado de PIE. Por último, las Centrales de Combustión Interna han contribuido con una menor capacidad de generación con relación a las demás centrales de combustibles fósiles o de tecnología convencional, alcanzando prácticamente los mismos niveles desde 2006, aproximadamente 248 MW en promedio, (Figura 3.5).

Figura 3. 5. Evolución de la capacidad efectiva de Energías Fósiles.

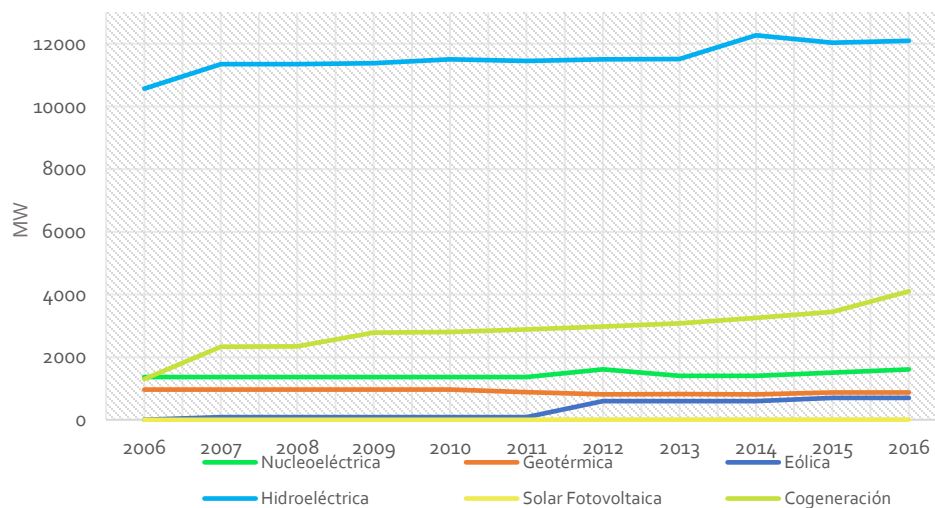


Fuente: Elaboración propia con información de Sistema de Información Energética (SENER), 2010.

#### 3.2.1.2.2 Capacidad de Centrales Eléctricas con fuentes limpias (CFE)

En cuanto a la capacidad de generación con Energías Limpias, las Centrales Hidroeléctricas en promedio aportaron 11,544 MW en capacidad, siendo ésta la de mayor contribución de esta categoría. La energía obtenida a través de cogeneración tuvo en promedio de 2006 a 2016 una aportación de 2,845 MW. Con respecto a la energía eólica se tiene una TMCA del 77.8 % de 2006 a 2016, lo cual significa que es la tecnología de generación con mayor crecimiento en su capacidad, incluso mayor a las de combustibles fósiles, aunque este valor sigue siendo muy bajo respecto a las demás, puesto que en promedio su capacidad ha sido de 329 MW. Así también, la energía solar fotovoltaica apenas pudo alcanzar a partir de 2012 una capacidad efectiva de 6 MW. Una cifra muy inferior, ya que sólo representa el 0.01% del total del parque de generación.

Figura 3. 6. Evolución de la capacidad efectiva de Energías Limpias.

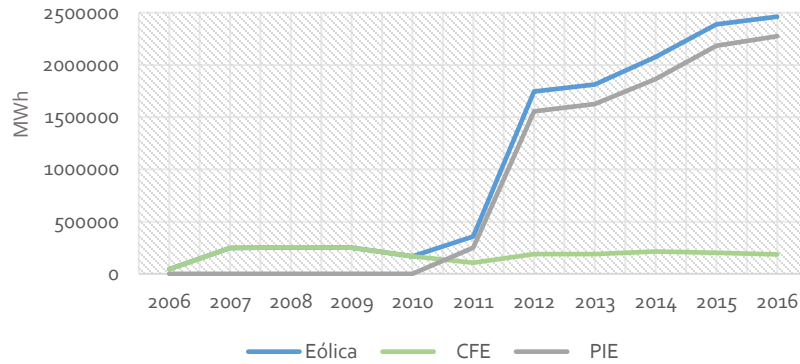


Fuente: Elaboración propia con información de Sistema de Información Energética (SENER), 2010 y CRE.

**3.2.1.3 Generación bruta de energía con fuentes renovables**

La producción de energía a través de fuentes renovables ha sido creciente en los últimos años, en términos generales. A partir de 2010 la generación bruta de energía eléctrica con Centrales Eólicas, ha tenido una TMCA del 46.9% hasta 2016, principalmente debido a la generación de Productores Independientes de Energía, puesto que la CFE ha aportado prácticamente los mismos niveles de generación bruta desde 2006 (Figura 3.7).

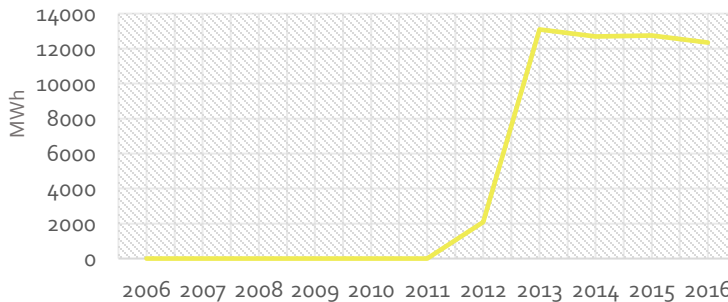
*Figura 3. 7. Generación bruta de energía a través de Centrales Eólicas.*



*Fuente: Elaboración propia con información de Sistema de Información Energética (SENER), 2010.*

En cuanto a la generación bruta con Centrales Fotovoltaicas, se tiene también una tendencia creciente, debido a diversos factores que propician la construcción de más Centrales, por ejemplo, los precios de producción eléctrica son más competitivos con respecto a otras tecnologías, las instalaciones tienen un menor grado de complejidad, aunado a un esquema de financiamiento más sencillo comparándola con otras energías renovables también, (Muciño F., 2015).

*Figura 3. 8. Generación bruta de energía a través de Centrales Fotovoltaicas.*



*Fuente: Elaboración propia con información de Sistema de Información Energética (SENER), 2010.*

**3.2.1.4 Centrales de Generación en operación dentro del Sistema Eléctrico Nacional**

Hasta 2015 según el listado de Centrales generadoras emitido por la SENER mediante el Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2016-2030 (PRODESEN), existen en operación 754 Centrales de diferentes capacidades de generación, tecnología y modalidades de operación al amparo de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica (LSPEE), es decir por Autoabastecimiento, Cogeneración, Pequeña Producción (P.P.), Productores Independientes, y Usos Propios Continuos (U.P.C). Estas modalidades

### 3. EL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL

seguirán vigentes según los transitorios de la Ley de la Industria Eléctrica, en tanto los permisionarios que tengan contratos en estas modalidades de operación en términos de la LSPPE así lo deseen, o hasta la finalización de su contrato, es decir se les respetará su contrato siempre y cuando se mantengan únicamente al margen de dicha ley, y no bajo las nuevas disposiciones de la LIE y las Reglas del Mercado Eléctrico Mayorista de forma paralela. Los titulares de tales contratos tienen la opción de solicitar ante CRE la modificación de sus permisos por unos de carácter único de generación, por lo que estarán sujetos a las disposiciones de la LIE y del MEM. Aun así, los titulares de los permisos tienen la opción de restablecer las condiciones anteriores en las que se encontraban en un máximo de 5 años a partir de su último cambio, (LIE, 2014).

De tal manera, resulta relevante identificar los esquemas o modalidades en la que aun operan y seguirán operando por lo menos 20 años más, gran parte de las Centrales de generación en México, ya que es importante conocer la cantidad de energía que aportan en términos de oferta y demanda al SEN y en especial las Centrales de fuentes renovables, por lo que a continuación se describen de acuerdo con el PRODESEN 2016-2030:

Por Autoabastecimiento se entiende como a la utilización de energía eléctrica para fines de autoconsumo toda vez que dicha energía provenga de plantas destinadas a la satisfacción de las necesidades del conjunto de copropietarios o socios.

Así pues, cuando se trata de Cogeneración se describe como:

- I. La producción de energía eléctrica simultáneamente con vapor u otro tipo de energía térmica secundaria, o ambas;
- II. La producción directa o indirecta de energía eléctrica a partir de energía térmica no aprovechada en los procesos de que se trate, o
- III. La producción directa o indirecta de energía eléctrica utilizando combustibles producidos en los procesos de que se trate.

En cuanto a la Pequeña Producción se establecen los siguientes parámetros para delimitarla:

- I. La venta a la CFE de la energía eléctrica total generada, asimismo la capacidad del proyecto en un área determinada no podrá exceder los 30 MW,
- II. También el autoabastecimiento de pequeñas comunidades rurales o áreas aisladas que carezcan del servicio de energía eléctrica, en cuyo caso los proyectos no podrán exceder de 1 MW, y
- III. La exportación, dentro del límite máximo de 30 MW.

Contrario a la Pequeña Producción, existe la Producción Independiente que ofrece su energía generada superior a los 30 MW exclusivamente y con reciprocidad de compra a la CFE mediante contratos de hasta 30 años, en función de la conveniencia comercial entre ambas partes.

En ocasiones especiales el servicio eléctrico por parte de la CFE no puede ser suministrado o está restringido, por lo que se otorgan permisos de autoabastecimiento de energía eléctrica destinada a la satisfacción de necesidades propias de personas físicas o morales individualmente consideradas, a este

### 3. EL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL

esquema operativo se le conoce como Usos Propios Continuos, y solamente se mantendrá este permiso hasta que persistan los fines por los que fue entregado.

De forma representativa la Figura 3.9 muestra la ubicación de algunas Centrales Eléctricas de más de 30 MW operando dentro del SEN. Como se puede observar las regiones Noreste, Occidental, Central y Oriental, tienen una mayor concentración de Centrales de fuentes fósiles principalmente, de las que se destacan Centrales de Turbogás, Ciclo Combinado y Termoeléctricas Convencionales.

Figura 3. 9. Mapa de Centrales Eléctricas operando en 2015.



Fuente: Asociación Mexicana de Energía, 2015.

#### 3.2.4.1 Centrales eléctricas eólicas y fotovoltaicas en México

Las Centrales Eólicas y Solares fotovoltaicas se localizan en los lugares con mayor capacidad de utilización de tales fuentes primarias. Particularmente los estados de la república que disponen de un mayor nivel de irradiación solar y con perfiles de viento apropiados, son aprovechados para la instalación de Centrales con estas tecnologías de generación.

En la Figura 3.10 se identifican las Centrales Eléctricas que operan actualmente en el país, tanto Eólicas como Fotovoltaicas. Comparándolo con el mapa de las regiones de control, se destaca un desarrollo de Centrales con mayor preponderancia en las zonas de Baja California Norte y Sur, así como también en las regiones Noreste (Guanajuato y San Luis Potosí) y Oriental concretamente en Oaxaca.

### 3. EL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL

Figura 3. 10. Ubicación actual de Centrales Eléctricas Eólicas y Fotovoltaicas.



Fuente: SENER, INERE 2015.

De acuerdo con la SENER actualmente se tienen instaladas 8 Centrales Fotovoltaicas, tanto de CFE como privadas, distribuidas principalmente en los estados del norte del país como Baja California Sur, Durango, entre otros que en la Tabla 3.2 se muestran.

Tabla 3. 2 Centrales Fotovoltaicas.

| ESTADO              | MUNICIPIO        | NOMBRE                           | PRODUCTOR | UNIDADES | CAPACIDAD INSTALADA [MW] | GENERACIÓN [GWh/a] |
|---------------------|------------------|----------------------------------|-----------|----------|--------------------------|--------------------|
| Baja California Sur | Mulegé           | Santa Rosalía                    | CFE       | 4,172    | 1                        | 2.07               |
| Baja California     | Mexicali         | Cerro Prieto                     | CFE       | 20,000   | 5                        | 10.83              |
| Aguascalientes      | Aguascalientes   | Autoabastecimiento Renovable     | Privado   | 16,889   | 1                        | 1.66               |
| Baja California Sur | La Paz           | Servicios Comerciales de Energía | Privado   | 155,000  | 38.75                    | 30.43              |
| Baja California     | Tijuana          | PLAMEX                           | Privado   | 4,634    | 1.112                    | 1.76               |
| Guanajuato          | Apaseo el Grande | Generadora Solar Apaseo          | Privado   | 3,164    | 0.99                     | 0                  |
| Durango             | Durango          | Tai Durango Uno                  | Privado   | 70,000   | 16.8                     | 14.58              |
| Sonora              | Miguel Alemán    | Coppel                           | Privado   | 3,396    | 0.986                    | 0.66               |

Fuente: SENER (INERE), 2015.

Así pues, existen 30 Centrales Eólicas pertenecientes a la CFE y a productores privados, de las cuales el estado de Oaxaca perteneciente a la región Oriental concentra 20 Centrales 19 privadas y solo una de CFE.



### 3. EL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL

Tabla 3. 3 Centrales Eólicas

| ESTADO          | MUNICIPIO             | NOMBRE                                  | RODUCTOR | TIPO                       | UNIDADES | CAPACIDAD<br>INSTALADA<br>(MW) | GENERACIÓN<br>(GWh/a) |
|-----------------|-----------------------|---|----------|----------------------------|----------|--------------------------------|-----------------------|
| Oaxaca          | Juchitán de Zaragoza  | La Venta                                | CFE      | Eoloeléctrica              | 104      | 84.65                          | 218.04                |
| Baja California | Mulegé                | Guerrero Negro (Puerto Viejo)           | CFE      | Eoloeléctrica              | 1        | 0.6                            | 0.03                  |
| Quintana Roo    | Benito Juárez         | Yuumil Ik                               | CFE      | Eoloeléctrica              | 1        | 1.5                            | 2.11                  |
| Oaxaca          | Juchitán de Zaragoza  | Instituto de Investigaciones Eléctricas | Privado  | Eoloeléctrica              | 3        | 0.3                            | 0.15                  |
| Baja California | Mexicali              | Municipio de Mexicali                   | Privado  | Eoloeléctrica              | 5        | 10                             | 25.05                 |
| Nuevo León      | Santa Catarina        | Eólica Santa Catarina                   | Privado  | Eoloeléctrica              | 8        | 22                             | 35.34                 |
| Oaxaca          | El Espinal            | Bii Nee Stipa I                         | Privado  | Eoloeléctrica              | 31       | 26.35                          | 89.56                 |
| Chiapas         | Arriaga               | Eólica de Arriaga                       | Privado  | Eoloeléctrica              | 16       | 28.8                           | 89.72                 |
| Oaxaca          | Ixtaltepec            | Eléctrica del Valle de México           | Privado  | Eoloeléctrica              | 120      | 67.5                           | 178.87                |
| Oaxaca          | El Espinal            | Eólica Zopiloapan (Bii Nee Stipa III)   | Privado  | Eoloeléctrica              | 35       | 70                             | 278.58                |
| Oaxaca          | El Espinal            | Stipa Nayaa (Bii Nee Stipa II)          | Privado  | Eoloeléctrica              | 37       | 74                             | 299.61                |
| Oaxaca          | Ixtaltepec            | Fuerza Eólica del Istmo                 | Privado  | Eoloeléctrica              | 60       | 80                             | 196.23                |
| Oaxaca          | Juchitán de Zaragoza  | Eólicos Mexicanos de Oaxaca I           | Privado  | Eoloeléctrica              | 152      | 90                             | 340.49                |
| Oaxaca          | Juchitán de Zaragoza  | Parques Ecológicos de México            | Privado  | Eoloeléctrica              | 82       | 79.9                           | 90.29                 |
| Oaxaca          | Santo Domingo         | Energías Ambientales de Oaxaca          | Privado  | Eoloeléctrica              | 51       | 102                            | 355.31                |
| Oaxaca          | Santo Domingo         | Ce Oaxaca Dos                           | Privado  | Eoloeléctrica              | 68       | 102                            | 354.33                |
| Oaxaca          | Santo Domingo         | Ce Oaxaca Tres                          | Privado  | Eoloeléctrica              | 68       | 102                            | 373.27                |
| Oaxaca          | Juchitán de Zaragoza  | Ce Oaxaca Cuatro                        | Privado  | Eoloeléctrica              | 68       | 102                            | 468.68                |
| Oaxaca          | Santo Domingo         | Energías Renovables Venta III           | Privado  | Eoloeléctrica              | 121      | 102.85                         | 274.45                |
| Oaxaca          | Juchitán De Zaragoza  | Eoliatec del Istmo                      | Privado  | Eoloeléctrica              | 124      | 164                            | 606.97                |
| Oaxaca          | Juchitán de Zaragoza  | Eurus                                   | Privado  | Eoloeléctrica              | 300      | 250.5                          | 1023.7                |
| Jalisco         | Ojuelos de Jalisco    | Los Altos                               | Privado  | Eoloeléctrica              | 28       | 50.4                           | 166.7                 |
| Oaxaca          | Santo Domingo Ingenio | Eoliatec del Pacífico                   | Privado  | Aerogenerador Convencional | 80       | 160                            | 706.92                |
| Oaxaca          | Juchitán de Zaragoza  | Eólica El Retiro                        | Privado  | Aerogenerador Convencional | 37       | 74                             | 99.78                 |
| Tamaulipas      | Reynosa               | Compañía Eólica de Tamaulipas           | Privado  | Aerogenerador Convencional | 36       | 54                             | 176.16                |
| Oaxaca          | Unión Hidalgo         | Parque eólico Piedra Larga Fase 2       | Privado  | Aerogenerador Convencional | 69       | 137.5                          | 471.63                |
| Oaxaca          | Juchitán de Zaragoza  | Fuerza y Energía BII HIOXO              | Privado  | Aerogenerador Convencional | 252      | 226.8                          | 645.619               |
| San Luis Potosí | Charcas               | Dominica Energía Limpia                 | Privado  | Aerogenerador Convencional | 100      | 200                            | 39.97                 |
| Baja California | Tecate                | Energía Sierra Juárez                   | Privado  | Aerogenerador Convencional | 52       | 156                            | 67.62                 |
| Sonora          | Puerto Peñasco        | Energía Sonora PPE                      | Privado  | Aerogenerador Convencional | 1        | 1.8                            | 0.5                   |

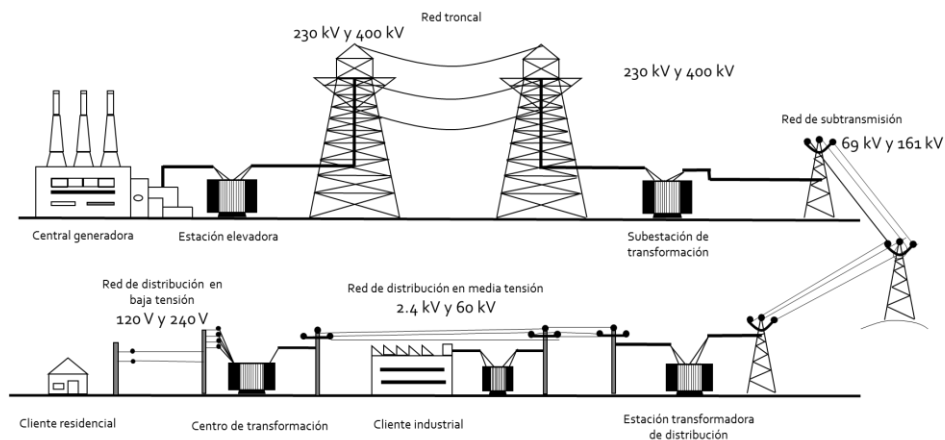
Fuente: SENER (INERE), 2015.

### 3.2.2 Transmisión y distribución de energía eléctrica

Para transportar la energía generada en cualquier Central, es necesario aumentar su potencia eléctrica mediante el uso de generadores asíncronos, estos equipos regulan el voltaje y frecuencia en primera instancia (Ledesma P. 2008), hasta alcanzar la potencia suficiente para poder conducir la energía hasta algún centro de transformación y posteriormente distribuirla en niveles inferiores de potencia, en función de los usuarios que la demande. Para definir la potencia eléctrica en la transmisión y distribución, se establecen niveles de tensión dependiendo en la fase de Red de transporte en la que se encuentre la energía.

El proceso de transmisión y distribución de energía eléctrica consta de una infraestructura compleja, la cual se debe desarrollar con base en una planeación constante, e inversiones cuantiosas en recursos técnicos y económicos para ello.

Figura 3. 11. Esquema general de transmisión y distribución de energía por Redes primarias.



Fuente: ITES, 2012.

#### 3.2.2.1 Redes de Transmisión y Redes Generales de Distribución

La infraestructura de red eléctrica en México dispone de 879,691 Km entre líneas de transmisión y distribución (PRODESEN, 2015), técnicamente se divide en 4 secciones acorde a la tensión en la que se transmite, las cuales se describen a continuación:

➤ Red troncal

Es la red más general y de mayor tensión, puesto que es la más próxima a las Centrales Eléctricas, disponiendo para ello de subestaciones. Esta red transmite entre 230 kV y 400 kV; subsecuentemente abastece a la red de subtransmisión y algunas grandes industrias, además de que enlaza regiones eléctricamente.

➤ Red de subtransmisión

Esta red transmite entre 69 kV y 161 kV, tiene una cobertura regional y alimenta las redes de distribución en media tensión y a usuarios que demanden tales voltajes.

### 3. EL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL

#### ➤ Redes de distribución en media tensión

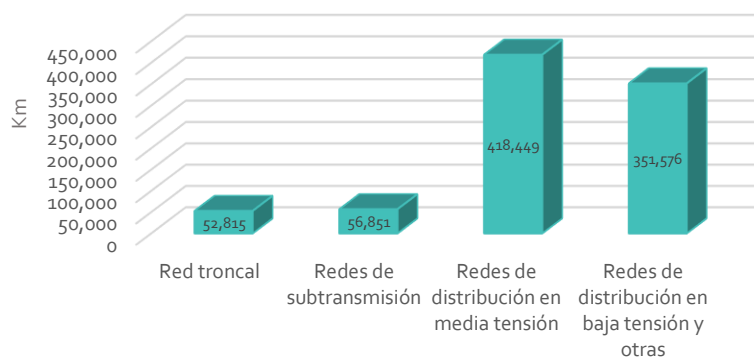
En dichas redes se distribuye energía con voltajes entre 2.4 kV y 60 kV, para usuarios que requieran estos voltajes, además se extiende en regiones geográficas relativamente pequeñas y proporciona energía a la red en baja tensión.

#### ➤ Redes de distribución en baja tensión

Por último, la red de distribución en baja tensión distribuye a usuarios con voltajes entre 120 V y 240 V, en general abastece al sector residencial.

De acuerdo con el Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (PRODESEN) en 2014, la red troncal se extendió en 52, 815 Km teniendo así una Tasa de Crecimiento Anual (TCA) de 1.1 % respecto a 2013. Además, la red de subtransmisión tuvo un incremento de 1.4 % pasando de 55, 957 Km en 2013 a 56,851 Km en 2014. Ahora bien, la red de distribución en media y baja tensión tuvo una extensión en 2014 de 418,449 Km y 351,576 Km, respectivamente.

Figura 3. 12. Líneas de transmisión, subtransmisión y distribución.



Fuente: Elaboración propia con información de SENER (PRODESEN 2015-2029), 2015.

Aunado a los kilómetros de red eléctrica, la infraestructura en transmisión y distribución también cuenta con subestaciones, y en este sentido en 2014 la capacidad de las subestaciones instaladas fue 118,468 MVA para transmisión y 54,625 MVA para distribución (SENER, PRODESEN, 2015).

#### 3.2.2.2 Redes Eléctricas Inteligentes (REI)

Al mismo tiempo en que se desarrolla las redes de transmisión y distribución, se planea la incorporación y adecuación de una red que permita tener una operación y administración más eficiente del Sistema Eléctrico, con elementos tecnológicos que permita transitar hacia un sistema avanzado con flujos bidireccionales que transporten información a través de un sistema de comunicación entre generadores y consumidores, (Gascó M., 2013).

Las REI están basadas en tecnologías de medición y comunicación, con las que se podrá anticipar la demanda y proyectar la generación eléctrica, especialmente las de fuentes renovables. Con las que también según el CENACE se podrá incorporar al SEN esquemas de generación distribuida, eficiencia energética, almacenamiento de energía, demanda controlable, al mismo tiempo que permitirá al usuario

### 3. EL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL

final controlar su consumo energético. Con esto las REI permitirán mitigar el impacto que puede tener la variabilidad de la generación proveniente de las Energías Renovables.

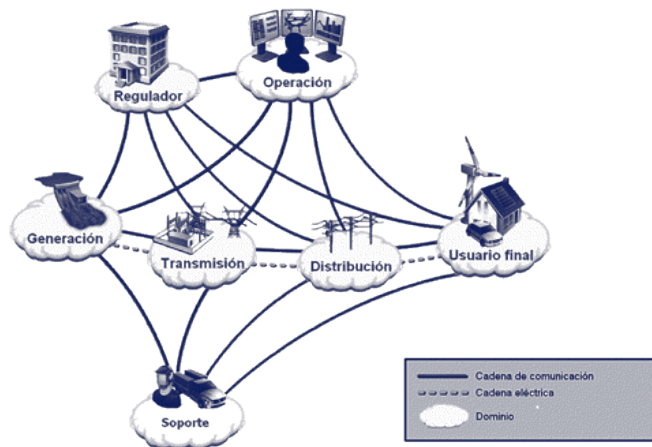
Como parte de los planes y programas que permitirán la modernización de la red de transmisión y distribución de energía eléctrica, diferentes órganos pertenecientes al sector gobierno principalmente, además del sector privado y académico, han diseñado un programa de Redes Eléctricas Inteligentes, el cual contiene líneas de acción como la integración de fuentes renovables al Sistema Eléctrico Nacional, el control de la variabilidad de estas fuentes y la evaluación del costo-beneficio de la instalación de estas redes eléctricas.

Con este programa se desea cumplir con el compromiso que tiene México de participar desde 2011 en actividades del International Smart Grid Action Network (ISGAN por sus siglas en inglés), pactado en la Clean Energy Ministerial (CEM2) llevado a cabo en Abu Dhabi. En ese foro México al igual que otros países principalmente europeos han tomado la iniciativa de promover el desarrollo de las REI bajo la incidencia del ámbito político, tecnológico y económico, siempre buscando los múltiples atributos que debe tener un Sistema Eléctrico (SENER, Programa de REI, 2016).

Las REI es una mejora al Sistema Eléctrico Nacional que paulatinamente se han ido incorporando y adaptando, mediante proyectos planeados y encabezados por la CFE en un principio y a partir de la Reforma de 2013, por un grupo de instituciones relacionadas con el sector eléctrico como lo es la SENER, CENACE, CRE, CFE, CONUEE, y el ahora llamado Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias (INEEL), antes Instituto de Investigaciones Eléctricas.

Las redes inteligentes ya no sólo implican el transporte de electrones de un lugar otro, sino que también con ellas se busca el transporte de información, lo cual conlleva a una sistematización del sistema que tendría que poseer a su vez un sistema de seguridad informática, por la posible exposición a ataques cibernéticos, ya que se podría asemejar a una red de internet. Con ello las empresas eléctricas que intervienen en las diferentes fases de la cadena de valor de la industria eléctrica, podrían en un futuro tener actividades comparables a las que tienen empresas de telecomunicaciones, (Madina, Arechalde, 2011).

Figura 3. 13. Esquema general de una Red Eléctrica Inteligente.



Fuente: Redes eléctricas inteligentes (Gómez, Viego, 2013).

#### 3.2.2.3 Intercambio de energía entre regiones

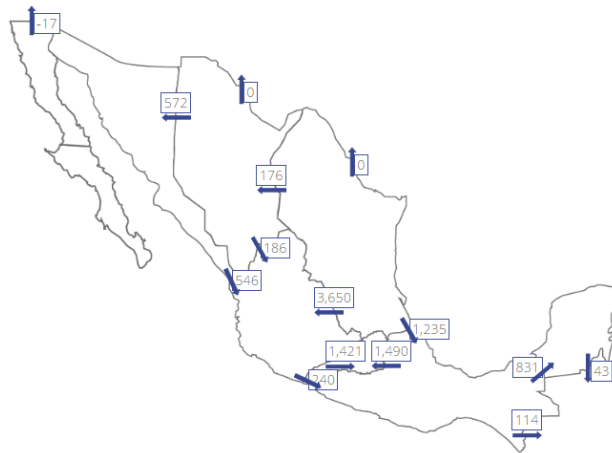
Para poder satisfacer la demanda eléctrica dentro del SEN se requiere realizar intercambio de energía en determinados lapsos de tiempo, para ello el CENACE realiza balances de energía por regiones en función de la energía demanda y de la energía neta<sup>8</sup> generada en un momento dado, todos los días. Existen regiones de control que generan más energía neta de la que demandan, por lo que el CENACE ejecuta dichos intercambios de energía para mantener estable el SEN. Existen intercambios de energía entre regiones que dependen también de la geografía en la que se encuentran las redes de transmisión por lo que sea más factible económica y técnicamente (disminución de pérdidas), alimentarse de otra región vecina, aunque se tenga la capacidad de generación para cubrir la demanda en la propia región.

Por otro lado, hay regiones que por diversos factores tiene una mayor capacidad de generación que otras, y al mismo tiempo la demanda neta no va acorde a la generación que ofrece, por lo que son regiones capaces de entregar el excedente de generación para así cubrir el déficit en otras regiones cuya capacidad de generación no logra satisfacer su propia demanda regional.

Es importante identificar las regiones de control cuyos flujos de energía dilucidan el déficit o el excedente de energía, puesto que al comparar con un mapa de ubicación de las Centrales Eléctricas se tiene un parámetro de referencia para definir en cierta forma la factibilidad de desarrollar más Centrales Eléctricas en ciertas regiones cuyo potencial de fuentes energéticas, y criterios económicos y estratégicos, que así lo permitan.

Así, por ejemplo, la región Noreste tiene en promedio una capacidad de generación neta que prácticamente duplica su demanda neta, esto permite que su excedente de energía la entregue a las regiones más cercanas, tal y como puede ser la región Occidental que cuenta con un déficit en su generación neta. Al igual que la región Occidental, la región Central también presenta una demanda mayor a la capacidad de generación por lo que se tiene que alimentar de otras regiones de control.

Figura 3. 14. Ejemplo de intercambio de energía en el Sistema Eléctrico Nacional.



Fuente: CENACE, 2016.

<sup>8</sup> Energía neta se refiere a la energía total que se entrega a la red para su transporte, es decir, se descuenta la energía que utiliza la Central Eléctrica para su operación.

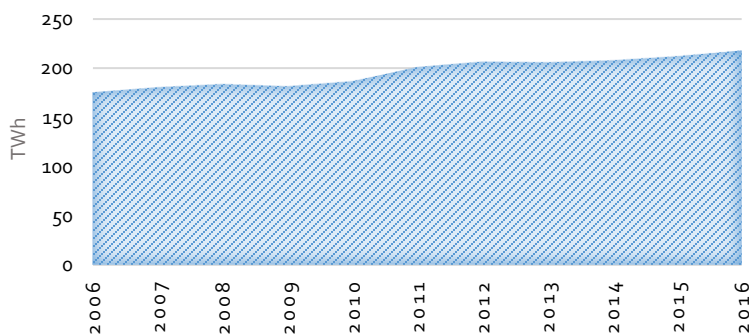
#### 3.2.3 Consumo de energía eléctrica

Al mismo tiempo en que las diversas actividades que se realizan en el país van aumentando, también lo hace el consumo de energía, bajo este panorama, el consumo ha crecido globalmente un 24.3 % de 2006 a 2016, pasando de 175.37 TWh a 218.07 TWh respectivamente. El 82 % de esta energía fue producida por la quema de hidrocarburos, de este porcentaje el 83 % fue mediante la quema de gas natural y el 76 % de este gas natural utilizado fue destinado para plantas de Ciclo Combinado (SIE, 2016). Dicha tendencia va acompañada con el incremento en la generación y el desarrollo de la infraestructura del SEN.

En contraste, las políticas de ahorro y uso eficiente de energía sin duda han ayudado a que el consumo de energía eléctrica no aumente considerablemente en estos últimos 10 años, los esfuerzos que han impulsado entidades como la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE), promoviendo metas de ahorro y mecanismos para su cumplimiento, han permitido logros sustanciales al respecto, (CONUEE, 2016). Aunque la CONUEE fomenta estas acciones para el ahorro y la eficiencia en el uso de energía en general, también se tienen repercusiones benéficas que involucran al uso de energía eléctrica en particular.

Por su parte, el Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE), también ha contribuido con programas y acciones de ahorro y uso eficiente de energía eléctrica, favoreciendo así a la CFE y a consumidores de energía eléctrica con apoyos técnicos y financieros, (FIDE, 2012).

Figura 3. 15. Consumo de energía eléctrica en México.



Fuente: Elaboración propia con información de Sistema de Información Energética (SENER), 2010.

#### 3.3 Emisiones de GEI asociadas a la generación eléctrica

Uno de los objetivos principales de la Ley de Transición Energética y la Ley General de Cambio Climático, es la regulación de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero que reduzcan la vulnerabilidad del ambiente y la sociedad ante los efectos del cambio climático. La generación y uso de energía representan *per se* una de las actividades asociadas a las emisiones de dichos gases y compuestos, y dado que en la generación de energía se emplean combustibles con contenido de carbono es inherente la presencia de CO<sub>2</sub> y otros gases cuando se transforma la energía de estos combustibles en energía eléctrica.

### 3. EL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL

La estimación de las emisiones de GEI se obtiene de manera indirecta de acuerdo con la metodología del IPCC (2006) y la metodología aprobada por CONUEE (2009) para consumo de energía eléctrica.

En general, el método para la estimación de emisiones de GEI se reduce a la siguiente ecuación:

$$E = \sum_{ij} A_{ij} * FE_{ij} * PC_j$$

Donde:

$E$ : es la suma de las emisiones de los gases  $j$  que emiten las actividades  $i$ , en unidades de CO<sub>2</sub> equivalente.

$A_i$ : son las diversas actividades agregadas.

$FE$ : es el factor de emisión del gas  $j$  para la actividad agregada  $i$ .

$PC_j$ : es el potencial de calentamiento del gas  $j$  (1 para CO<sub>2</sub>, 25 para CH<sub>4</sub> y 298 para N<sub>2</sub>O).

Para el caso de la electricidad, se considera lo siguiente: el sistema eléctrico nacional está interconectado en todo el territorio, con excepción de la península de Baja California. Esto significa que la electricidad que se genera en las diferentes plantas en el país se transmite a través de una red compleja a todo el territorio. Por esta razón, puede hacerse la suposición de que cada kWh que se consume es generado por un promedio de todas las plantas existentes. En términos estrictos esto no es real, pues dependiendo de la hora del día, se utilizan diferentes plantas, es decir un despacho de carga distinto. Sin embargo, para estudios no puntuales es factible hacer este supuesto, (Castillo D., 2014).

Tabla 3. 4 Factores de emisión por generación eléctrica (Kg/TJ).

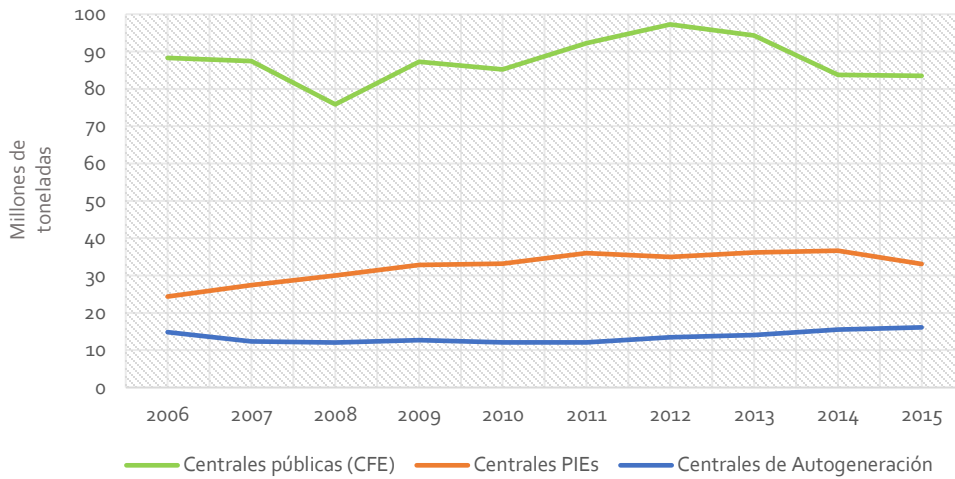
|                | CO <sub>2</sub> | CH <sub>4</sub> | N <sub>2</sub> O |
|----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| Carbón         | 98,300          | 10              | 1.5              |
| Coque petróleo | 97,500          | 3               | 0.6              |
| GLP            | 63,100          | 1               | 0.1              |
| Diesel         | 74,100          | 3               | 0.6              |
| Combustóleo    | 77,400          | 3               | 0.6              |
| Gas natural    | 56,100          | 1               | 0.1              |

Fuente: IPCC, 2006.

Para el cálculo de emisiones de GEI se utilizan datos del Sistema de Información Energética (SIE), tomando como componentes a la energía generada en las Centrales Eléctricas y los factores de emisión de los combustibles fósiles empleados en la generación de la misma.

Los datos de energía están agrupados en 3 categorías de Centrales generadoras como lo son: Centrales de CFE, de productores independientes (PIE) y de autogeneración. En este sentido, las Centrales Eléctricas pertenecientes a la CFE emitieron mayores cantidades de GEI respecto a las Centrales de los otros generadores (PIE y Autogeneración), llegando a emitir proporcionalmente hasta 4 veces más CO<sub>2</sub>. En 2012 se registró la mayor cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> en todas las Centrales, desde 2006 hasta 2015 llegando a 145.61 millones de toneladas.

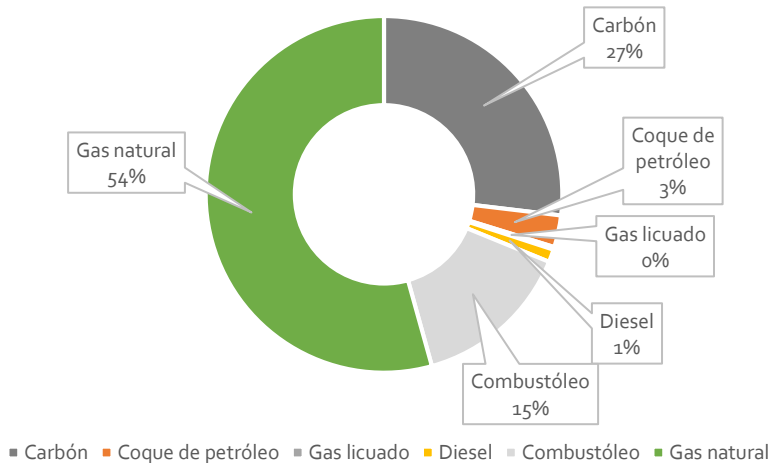
Figura 3. 16. Emisiones de CO<sub>2</sub> debido a la generación eléctrica en el SEN.



Fuente: Elaboración propia con base en metodología de cálculo de emisiones de IPCC, 2006.

En 2015 el 54 % de las emisiones de CO<sub>2</sub> provinieron del Gas Natural, el 27 % del Carbón, el 15 % del Combustóleo, y apenas el 3 y 1 % del Coque de petróleo y Diesel respectivamente. Con poco más de 15.6 millones de toneladas de Carbón que se usaron en ese año en las Centrales Carboeléctricas, han hecho del Carbón un combustible preponderantemente utilizado por las características técnicas y económicas que representaba las décadas pasadas, sin embargo, si se desea llevar a cabo la transición energética planteada, será acertado intensificar la sustitución de combustibles como éste o como el Coque de petróleo que poseen un factor de emisión superior a otros combustibles como el Gas Natural que poseen precios aún más competitivos y resultan ser menos contaminantes para el ambiente.

Figura 3. 17. Porcentaje de emisiones de CO<sub>2</sub> por combustible en 2015.



Fuente: Elaboración propia con base en metodología de cálculo de emisiones de IPCC, 2006.



# CAPÍTULO 4

## LA REFORMA ENERGÉTICA Y EL MERCADO ELÉCTRICO MAYORISTA

En el presente capítulo, se abordará la importancia de la Reforma Energética llevada a cabo desde 2013, en cuanto a la reestructuración del sector energético en México y el impulso que se propone dar a las fuentes de energías limpias, particularmente para la generación de energía eléctrica, ya que forma parte de los objetivos contenidos en la LTE. Llevando para ello a la industria eléctrica a una liberalización de ciertas actividades y una mecánica diferente de comercializar la energía eléctrica en el país.

### 4.1. Nueva industria eléctrica en México

La reforma energética de 2013 ha traído consigo una reconfiguración de la industria eléctrica en México, cuyo objetivo central se planteó desde un principio, la implementación de un Mercado Eléctrico Mayorista en donde las transacciones de energía eléctrica y demás productos asociados a esta industria se pudieran realizar en función de la oferta y la demanda en lapsos de tiempo determinados. Además, un aspecto relevante en esta nueva industria eléctrica es la participación abierta de inversión privada en dos actividades fundamentales de su cadena productiva, esto es en la generación y comercialización. Cambiando así el anterior esquema de integración vertical de sus actividades basado en procesos a un esquema estructurado por funciones.

Ahora bien, la primicia de dicha reconfiguración es la apertura a un Mercado competitivo que permita a la CFE ser una Empresa Productiva del Estado (EPE), pero relegada de prevalecer como un monopolio natural del servicio eléctrico. Con la implementación del Mercado, se espera crear las condiciones necesarias para que el Sistema Eléctrico Nacional tenga la infraestructura que se requiere en pro de satisfacer las expectativas de demanda de energía eléctrica por lo menos hasta 2029 (SENER, 2015)<sup>9</sup>.

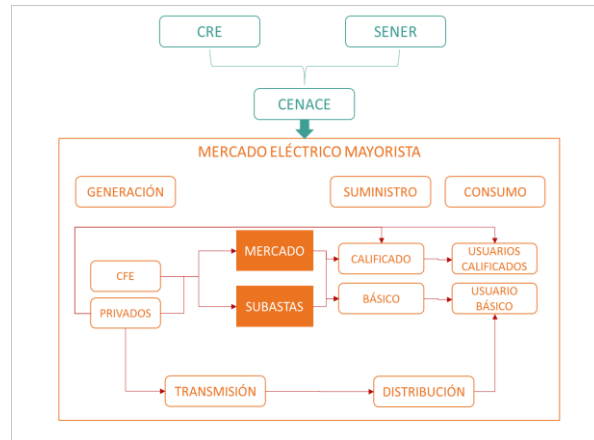
En la nueva industria eléctrica, las funciones principales recaen principalmente en la Secretaría de Energía y en la Comisión Reguladora de Energía, ambas entidades ejercerán entre otras acciones, la planeación estratégica del sector eléctrico del país, para así asegurar su eficiencia, calidad, confiabilidad, continuidad, seguridad y sustentabilidad del mismo (SENER, 2015)<sup>10</sup>.

---

<sup>9</sup> Prospectiva del Sector Eléctrico 2015-2029

<sup>10</sup> Diario Oficial de la Federación Cuarta Sección, Bases del Mercado Eléctrico

Figura 4. 1. Esquema de la nueva industria eléctrica en México.



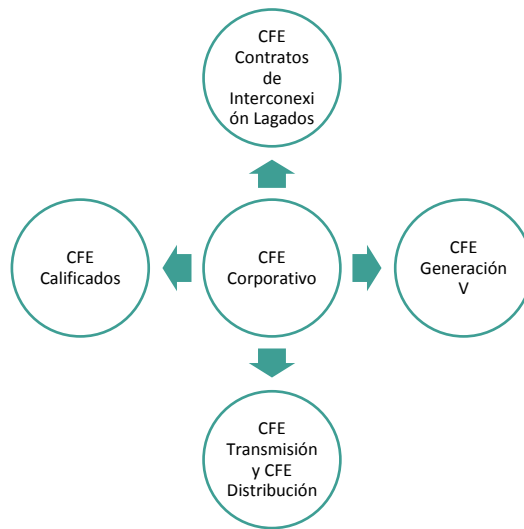
Fuente: Elaboración propia con base en información de SENER, 2015.

#### 4.1.1 La nueva estructura de CFE como Empresa Productiva del Estado

Una vez que se implementó la Reforma Energética, la CFE pasó a ser un participante más en la actual estructura de la industria eléctrica, pero teniendo todavía cierta preponderancia en actividades como la transmisión y la distribución. La razón de transformar a CFE en una Empresa Productiva del Estado es porque en teoría la liberalización parcial del sector eléctrico permitiría tener una empresa que retribuya ganancias al gobierno mexicano aun cuando esta empresa haya sido dividida para operar y competir en el Mercado.

El eje rector de la nueva CFE es un corporativo que controlará empresas filiales y subsidiarias, y la diferenciación entre ambas empresas es que mientras para las empresas filiales podrán tener una participación minoritaria del sector privado, en las empresas subsidiarias la participación del Estado debe ser total. De esta forma CFE corporativo tendrá una organización como se muestra en la Figura 4.2.

Figura 4. 2. Compañías de CFE.



Fuente: Elaboración propia con base en información de ITESM, 2016.

#### 4. LA REFORMA ENERGÉTICA Y EL MERCADO ELÉCTRICO MAYORISTA

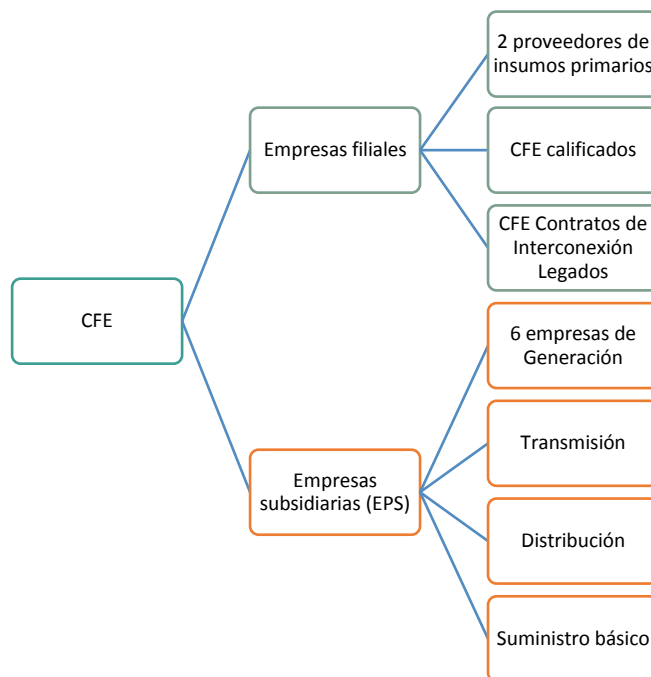
La filial de CFE de Contratos de Interconexión Legados se encargará de las centrales de Cogeneración y Autoabastecimiento, las cuales representará en el MEM.

Por otro lado, CFE Generación V tendrá a cargo a las empresas que en el antiguo esquema eran los PIE, en cambio CFE Generación I, II, III, IV y VI tendrán diferentes Centrales Eléctricas a su cargo (excepto la Nuclear), repartidas de forma equitativa para que compitan entre sí y no haya un ambiente desigual, cabe destacar que estas empresas de generación serán totalmente del Estado.

Además, estará presente una empresa de CFE exclusivamente para atender a Usuarios Calificados, teniendo a su vez una participación privada por lo que será una empresa filial. En cambio, habrá una empresa subsidiaria que suministre energía al mayor volumen de consumidores de energía que hay en el país, es decir los usuarios de bajo consumo (Usuarios básicos).

Con respecto a la Transmisión y Distribución CFE tendrá para estas actividades 2 empresas subsidiarias que operarán a tarifa regulada determinada por la CRE (ITESM, 2016).

Figura 4. 3. Nueva estructura de CFE.



Fuente: ITESM, 2016.

#### 4.2 Participantes del Mercado

El Mercado Eléctrico Mayorista, se compone en términos generales de 4 partícipes que se vinculan entre sí, intercambiando diferentes productos asociados, tales participantes son Generadores, Suministradores, Comercializadores y Usuarios. En primera instancia se encuentra el generador, el cual representa el primer eslabón de la cadena productiva de la industria, y cuya principal característica es el poseer permisos para generar energía a través de Centrales Eléctricas con contratos de participación que representan dichas Centrales en el Mercado. Asimismo, dentro de esta actividad, se deriva la figura de generadores exentos, los cuales, a diferencia de los anteriores, ellos tienen la propiedad de una o varias

Centrales Eléctricas que no tienen o no requieren permisos para generar energía, (LIE, 2014)<sup>11</sup>. Cabe destacar que los generadores tienen la posibilidad de ofrecer sus productos dentro del Mercado Eléctrico, o directamente a su cliente, mediante Contratos de Cobertura Eléctrica cuya descripción se abordará más adelante.

Posteriormente a la generación, resulta pertinente la figura de un suministrador para tener continuidad del servicio en la cadena de valor; en este sentido se clasifican en tres tipos de suministradores:

- Suministrador de servicios básicos
- Suministrador de servicios calificados
- Suministrador de último recurso

El suministrador de servicios básicos se enfoca en comercializar la energía comprándola en el Mercado Eléctrico; y posteriormente vendiéndola a los usuarios también designados como de servicios básicos con una demanda menor a 1 MW; y bajo esta condición no requieren registro ante la CRE. Así pues, los suministradores de servicios calificados proveen a grandes consumidores de energía mediante contratos previamente pactados, dichos consumidores son típicamente son industrias que cuentan con centros de carga mayores a 1 MW y que dentro del Mercado se les denomina como usuarios calificados. En cuanto al suministrador de último recurso, se refiere al que provee a usuarios calificados cuando el suministrador de servicios calificados deje de prestar el servicio.

En el caso de los comercializadores, ellos son titulares de un contrato que les permite realizar transacciones dentro del mercado sin necesidad de tener activos físicos para poder participar, razón principal por la que se puede diferenciar con respecto a un suministrador.

Con la finalidad de que el Mercado opere bajo los criterios establecidos en la Ley de la Industria Eléctrica, se designa al Centro Nacional de Control de Energía como el órgano gubernamental encargado de dicha tarea. El CENACE es un organismo descentralizado de la CFE que adquirió su autonomía a partir de la reforma energética de 2013, y cuya labor principal es el control de la operación del SEN; y la operación del Mercado Eléctrico, ejecutando para ello un despacho óptimo de la energía otorgada por las Centrales Eléctricas pertenecientes al SEN. Además, se encarga de promover la ampliación de la infraestructura de la red de transmisión y de las redes generales de distribución, mediante planes y programas evaluados y autorizados por la SENER, (CENACE, 2015).

### 4.3 Comercialización de productos asociados

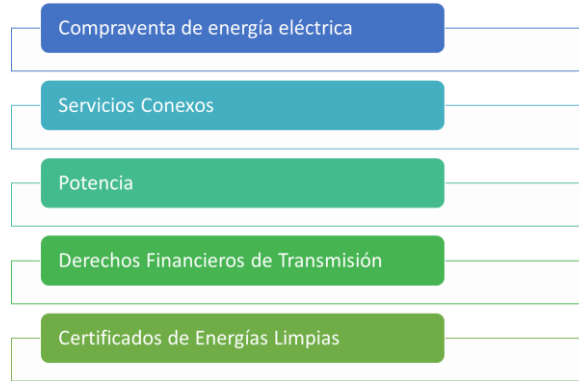
En el Mercado Eléctrico Mayorista además de la comercialización de energía, también se puede ofertar productos que complementan al SEN, para darle confiabilidad y eficiencia en la operación, además de seguridad principalmente a los usuarios, y sobre todo la posibilidad de poder desarrollar una Industria más competitiva. Cada uno de los productos se pueden adquirir bajo diferentes modalidades de Mercado y en diferentes plazos.

---

<sup>11</sup> Ley de la Industria Eléctrica

En la Figura 4.4 se muestran los productos ofrecidos en el Mercado Eléctrico Mayorista.

Figura 4. 4. Productos asociados del MEM.

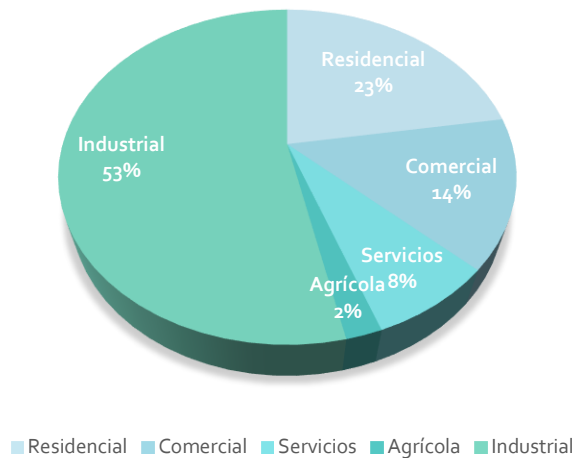


Fuente: Elaboración propia con información de las Bases del MEM, SENER 2015.

### 4.3.1 Energía

El principal producto del MEM es la Energía, ésta se comercializa en cualquier horizonte de tiempo, corto, mediano o largo, y en cualquier esquema de Mercado, ya sea en compraventa en día en adelante, hora en adelante, y en tiempo real si es a corto plazo; o bien puede ser en Subastas a través de Contratos de Cobertura Eléctrica si se desea hacer en el mediano o largo plazo. La Figura 4.5 muestra información de las ventas de energía por sector tarifario.

Figura 4. 5. Venta de energía eléctrica por sector tarifario en 2016.



Fuente: Elaboración propia con información de Sistema de Información Energética (SIE), SENER 2016.

### 4.3.2 Potencia

Aunado a la energía, la Potencia es otro producto que un generador puede entregar en el Mercado, y para tal efecto existe un balance de Potencia, esto significa que el generador debe asegurar la disponibilidad de producción de energía para ofrecerla en el corto plazo durante un determinado tiempo, en función también de la capacidad de planta de la Central generadora y si es de tecnología firme o interrumpible<sup>12</sup>.

### 4.3.3 Servicios Conexos

Por otro lado, los Servicios Conexos son requeridos para dotar de confiabilidad al Sistema Eléctrico Nacional, ya sea para reservar energía y asegurar la disponibilidad de la misma, así como también para la regulación de voltaje y potencia reactiva, o en su caso para el arranque de emergencia, operación en isla y conexión a bus muerto del Sistema (SENER 2015, Bases del MEM).

Para las Reservas se tiene la siguiente clasificación:

- De Regulación Secundaria
- Rodantes
- No rodantes
- Operativas
- Suplementarias

### 4.3.4 Derechos Financieros de Transmisión

En cuanto a los Derechos Financieros de Transmisión, se utilizan para cubrir la diferencia de precio que resulten del valor de los Componentes de Congestión Marginal de los Precios Marginales Locales en dos nodos de precio, NodosP, uno origen y el otro destino (SENER 2015, Bases del MEM).

Los Derechos Financieros de Transmisión:

- Estarán balanceados: la cantidad evaluada en el nodo de origen será siempre igual a la cantidad evaluada en el nodo de destino.
- No incluyen el costo marginal de las pérdidas.
- No incluyen cargos de acceso a la transmisión (tarifas reguladas) o cargos por Servicios Conexos.

### 4.3.5 Certificados de Energías Limpias

Los Certificados de Energías Limpias (CEL's) fueron diseñados para involucrar directamente a las energías renovables, en este caso eólica y fotovoltaica, dichos certificados son títulos que acreditan la producción de energía eléctrica a través de fuentes limpias, esto es que a los Generadores les sean asignados un CEL por 1 MWh de energía limpia que produzca, para poderlos ofrecer en el mercado, ya sea a un Suministrador o a un Usuario, que al mismo tiempo estén obligados a consumir un porcentaje determinado de energía proveniente de alguna fuente limpia. El objetivo es llegar a 2024 y que este porcentaje represente el 35%, sin embargo, para llegar a tal porcentaje se tienen metas intermedias para poder alcanzarlo, por ejemplo, en 2018 se planteó establecer un porcentaje de 25% y para 2021 el 30%.

---

<sup>12</sup> Capacidad que posee una tecnología para generar energía en forma continua o con menor intermitencia

#### 4. LA REFORMA ENERGÉTICA Y EL MERCADO ELÉCTRICO MAYORISTA

En términos generales, es un mecanismo enfocado en los participantes de lado de la demanda, es decir:

- Suministradores Básicos
- Suministradores Calificados
- Usuarios Calificados
- Usuarios Finales de Abastecimiento Aislado
- Titulares de Contratos de Interconexión Legados cuyos Centros de Carga reciban energía que no provengan totalmente de energías limpias.

Para determinar la cantidad de certificados que la CRE otorgará y regulará, se estará sujeto a condiciones de obligatoriedad, las cuales involucran una serie de requisitos que deberán cumplir los participantes acreedores a estos certificados, además de la cantidad de energía que consuman los centros y puntos de carga que reciban el suministro eléctrico. De tal manera que las obligaciones se calculan en función de la siguiente ecuación:

$$\text{Obligación} = R * C$$

Donde:

*R*: es el requisito de Certificados de Energías Limpias para el periodo de obligación, expresado como un porcentaje del consumo;

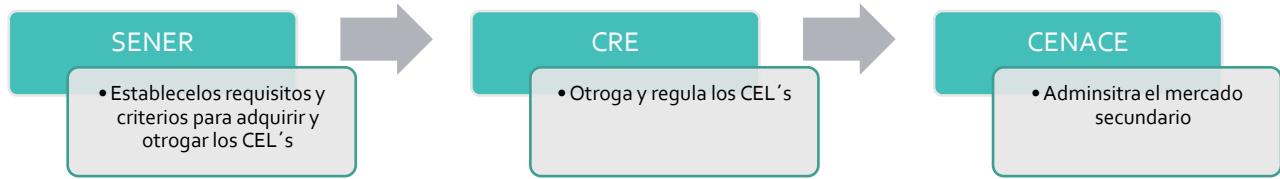
*C*: es el total de Energía Eléctrica consumida durante un Periodo de Obligación en los Centros de Carga y Puntos de Carga que reciban el Suministro Eléctrico, que reciban energía eléctrica por el abasto aislado o que se incluyan en los Contratos de Interconexión Legados, que correspondan al Participante Obligado, expresado en MWh, (SENER, 2017).

Los requisitos están basados en criterios técnicos y operativos de las Centrales Eléctricas Limpias. Tanto las que hayan entrado en operación después de 2014 o como las Legadas, tendrán derecho a recibir CEL's. Para el caso de las Centrales Legadas sólo podrán obtener certificados de la energía adicional que resulte de proyectos nuevos que entren en operación a partir de 2014. Tal excedente se considerará aplicable cuando rebase el valor promedio de energía limpia generada durante el periodo de 2012 al 2014; y durante los 10 años anteriores a los proyectos propuestos.

La particularidad de este producto es que el CENACE lo operará bajo un Mercado spot, lo que significaría que se respetará el precio en el instante en que se pacte la venta con contrato, y no en el instante en que se haga efectiva la entrega del producto.

Así pues, la Figura 4.6 indica el proceso general del funcionamiento de los CEL's

Figura 4. 6. Representación esquemática de los CEL's.



Fuente: CRE, 2016.

#### 4.4 Modalidades de operación del Mercado Eléctrico Mayorista

El comercio de energía eléctrica y los productos asociados en el MEM operaran en diferentes modalidades, dependiendo de los plazos de tiempo en que se requiera realizar el intercambio de productos y de sus características de cada uno.

La Figura 4.7 muestra los productos asociados que se pueden comercializar bajo diferentes modalidades del mercado

Figura 4. 7. Esquema general del funcionamiento del Mercado Eléctrico Mayorista (MEM).

| Horizonte de tiempo        | Modalidad de mercado | Instrumento de aplicación        | Productos asociados |          |                   |                                     |                                  |
|----------------------------|----------------------|----------------------------------|---------------------|----------|-------------------|-------------------------------------|----------------------------------|
|                            |                      |                                  | Energía             | Potencia | Servicios Conexos | Derechos Financieros de Transmisión | Certificados de Energías Limpias |
| Corto plazo                | Día en adelante      |                                  |                     |          |                   |                                     |                                  |
|                            | Tiempo real          |                                  |                     |          |                   |                                     |                                  |
|                            | Hora en adelante     |                                  |                     |          |                   |                                     |                                  |
| Mediano plazo (3 años)     | Subastas             | Contratos de cobertura eléctrica |                     |          |                   |                                     |                                  |
| Largo plazo (15 a 20 años) | Subastas             | Contratos de cobertura eléctrica |                     |          |                   |                                     |                                  |

Fuente: Elaboración propia con información de las Bases del MEM, SENER 2015.

##### 4.4.1 Mercado en el corto plazo

Bajo esta modalidad se pueden llevar a cabo operaciones por Día en adelante, Hora en adelante o Tiempo real. El objetivo de este esquema es balancear el SEN con los flujos de energía y Servicios Conexos, realizando asignaciones y despacho de Unidades de Central Eléctrica (UCE), que satisfagan la demanda modelada con base en la oferta y no en un pronóstico, además se incluirán las ofertas de compra y venta virtuales, y las importaciones y exportaciones de energía que alguno de los participantes del MEM tenga, (SENER, Bases del MEM, 2015).

Una característica de este Mercado es que la oferta de energía está dada por los costos variables, es decir, aquel Generador que cuenta con la tecnología con el costo variable más bajo es el primero en ser despachado, y así sucesivamente. El precio que reciben los Generadores es el costo variable de la última central despachada, (CRE, 2015).



### 4.4.1.1 Mercado de Día en Adelanto (MDA)

La comercialización de energía y Servicios Conexos en el Mercado de corto plazo dependerá de las ofertas que hagan los participantes ante el CENACE. Las ofertas en el MDA tendrán un periodo de 7 y hasta 1 día antes de la entrada en Operación del Mercado, sin embargo, previamente el CENACE validará y evaluará automáticamente la consistencia de los precios de referencia de cada oferta. La información recabada servirá de base para la modelación del programa de arranque y paros de las Centrales Eléctricas, esto significa que se podrá calcular los niveles de generación, se logrará asignar los Servicios Conexos, también se calculará la cantidad de energía que se importe y exporte; además de los precios marginales locales y los precios marginales de los Servicios Conexos. Y para recuperar los costos de producción, las Centrales Eléctricas serán acreedoras a una Garantía de Suficiencia de Ingresos por Asignación de Generación del MDA, siempre y cuando si los ingresos por la venta de energía son inferiores a los costos de producción de la misma. La garantía es principalmente para ofrecer certeza a los Generadores que tendrán condiciones rentables de comercializar sus productos en el MEM, (SENER, Manual de Mercado de Energía de Corto Plazo, 2016).

### 4.4.1.2 Mercado en Tiempo Real (MTR)

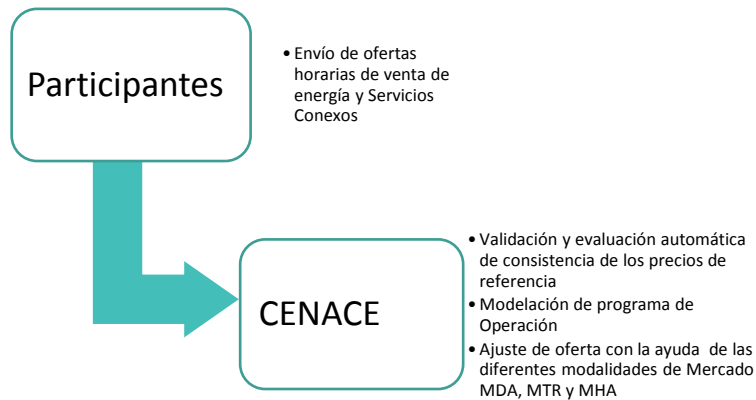
El Mercado en Tiempo Real sirve para ajustar las diferencias que se producen cuando se lleva a cabo el MDA en tiempo real, pero solo se ajustan las ofertas de venta derivado de los cambios en las capacidades de generación y capacidades de suministro de los Servicios Conexos. Los ajustes deberán entregarse 2 horas antes de la entrada en Operación del Mercado. Existen 4 ciclos de operación del MTR en los que se pueden hacer ajustes previamente a los 30,15 y 5 minutos e incluso en el cuarto ciclo se puede monitorear mediante el Control Automático de Generación (CAG) a los 4 segundos de anticipación.

### 4.4.1.3 Mercado de Hora en Adelanto (MHA)

En esta modalidad de mercado al igual que en las anteriores los participantes podrán enviar sus ofertas de energía y Servicios Conexos al CENACE, solo que en esta lo podrá hacer hasta 1 hora antes de entrar en operación el Mercado, las ofertas estarán catalogadas como compromisos financieramente vinculantes para la entrega o recepción de energía y Servicios Conexos en la hora siguiente a la realización del Mercado de una Hora en Adelanto, esta modalidad entrará en operación en una segunda etapa del MEM (SENER, Bases del MEM, 2015).

En términos generales, el proceso del Mercado en el corto plazo (Figura 4.8) funciona prácticamente igual en las diferentes modalidades, lo único que hace la diferencia entre ellas es el tiempo de recepción de ofertas y ajustes de las mismas antes de la entrada en Operación del MEM.

Figura 4. 8. Proceso general del funcionamiento del Mercado en el corto plazo.



Fuente: Elaboración propia con información de (SENER, Manual de Mercado de Energía de Corto Plazo, 2016).

#### 4.4.2 Mercado en el mediano y largo plazo

En el intercambio de productos asociados puede establecerse periodos de tiempo más prolongados a un año, que permita haber Contratos de servicios entre los participantes del Mercado, con el fin de cubrir las necesidades de demanda (Suministradores o Usuarios). Para tal efecto, la injerencia del CENACE será en la realización de Subastas de productos trasladados a Contratos de Cobertura Eléctrica. En tales Contratos, se podrán determinar las transacciones de energía, Potencia, Derechos Financieros de Transmisión y Certificados de Energías Limpias, en el mediano y largo plazo. Los Participantes del Mercado podrán estructurar Contratos de Cobertura Eléctrica que generen los mismos derechos y obligaciones que los Derechos Financieros de Transmisión emitidos por el CENACE, sin que dichos contratos se sujeten a los procedimientos para Derechos Financieros de Transmisión establecidos en las Reglas del Mercado, (SENER 2015, Bases del MEM).

#### 4.4.3 Subastas

El CENACE estipula que las diferentes figuras que participan en el MEM podrán celebrar contratos en forma competitiva para poder abastecer productos como Potencia, Energía Eléctrica Acumulable y Certificados de Energías Limpias en el mediano y largo plazo, a este tipo de mecanismos se le llama subasta. Y solamente los siguientes participantes podrán ofrecer sus productos a través de subastas.

- Suministrador de Servicios Básicos.
- Suministrador de Servicios Calificados.
- Suministrador de Último Recurso.
- Usuario Calificado Participante del Mercado.

Cuando se trate de subastas de mediano plazo, el tiempo de vigencia serán de tres años y los productos a contratar serán Potencia y Energía Eléctrica Acumulable.

Por su parte, los contratos de largo plazo tendrán una vigencia de 15 años cuando se comercialice Potencia y Energía Eléctrica Acumulable, y de 20 años cuando sean Certificados de Energías Limpias.

### 4.4.4 Despacho económico de carga

En un Sistema Eléctrico, el despacho económico determina la salida de potencia activa de cada Unidad Central Eléctrica necesaria para alimentar la carga del sistema, minimizando el costo operativo total, respetando criterios de calidad del servicio (frecuencia y voltaje), así como restricciones de seguridad en la operación (flujos en líneas, límites de reactivos, etc.), (Leal E., 2005).

De acuerdo con la Ley de la Industria Eléctrica, el CENACE se hará cargo de la asignación y despacho de las Centrales Eléctricas, dicha asignación y despacho se ejecutará independientemente de la propiedad o representación de las Centrales Eléctricas.

El objetivo primordial del despacho económico es dar seguridad al servicio eléctrico con el menor costo posible que esto implique, sin embargo, en la Operación del Sistema existen restricciones relacionadas con la continuidad en la generación que tienen que ser valorados en el programa modelado. Las Centrales Eléctricas que operan bajo las restricciones de generación debido a la naturaleza de sus fuentes energéticas, son catalogadas e identificadas en el programa de menor a mayor grado de confiabilidad para su despacho. En el caso de las energías renovables (eólica y solar) su intermitencia en la generación hace que sean menos confiables con respecto a otras centrales de tipo fósil, principalmente de Ciclo Combinado, no obstante, se consideran altamente despachables en el programa por privilegiar el uso de fuentes limpias.

Por lo que, el tipo de tecnología de generación es un factor determinante en el despacho de carga, en la medida en que sea más confiable o firme su fuente es más fácil de considerarse como despachable. También, la tecnología del programa de arranque y paros que envuelve a la Central Eléctrica es un factor que considerar sobre todo si se pretende integrarla a una REI.

# CAPÍTULO 5

## ESCENARIOS DE CAPACIDAD DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON METODOLOGÍA ENERGYPLAN

En este capítulo se comparará los escenarios de capacidad de generación eléctrica tomados como referencia de la herramienta EnergyPLAN, con los escenarios prospectivos realizados por SENER, con el fin de identificar la viabilidad que tiene esta herramienta para el diseño de estrategias de planeación energética que permita incorporar las Fuentes de Energías Limpias y/o Renovables al SEN. Y así cumplir con uno de los objetivos de la Reforma Energética.

### 5.1 Prospectivas de generación de energía eléctrica con fuentes renovables en México

Para lograr los objetivos principales de la Reforma Energética de 2013, México tendría que conseguir una integración más efectiva de los recursos energéticos renovables hacia su sistema de energía, preponderantemente hacia el Sistema Eléctrico Nacional, lo cual implicaría un diseño de estrategias basada en una planeación técnica, económica y política del aprovechamiento de los recursos renovables, considerando la demanda y oferta de energía en el mediano y largo plazo. Bajo este contexto, en la Reforma Energética se diseñaron mecanismos y políticas enfocadas a promover el uso de energías renovables, en los cuales se trazaron los objetivos de las estrategias, programas, lineamientos y normas, para así tener directrices congruentes entre sí, que busquen el cumplimiento de los objetivos planteados.

Como parte de las estrategias establecidas en los programas que fomentan las energías renovables, la SENER con la ayuda de documentos legislativos como la LTE, la LIE y la LGCC, además de los instrumentos de los que se derivan de estas leyes, tales como la Estrategia Nacional de Cambio Climático, el PRODESEN o la Contribución Nacional Determinada de México ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático; formuló escenarios prospectivos y metas, que se encuentran contenidos en la Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios, (SENER, 2016).

En este documento los escenarios se plantean como ejercicios numéricos, y para tal efecto se propone un escenario base y otro de transición, el primero se refiere a la evolución de la oferta y consumo de energía, considerando que no se lleva a cabo ningún tipo de acción relacionada con metas de energías limpias y con eficiencia energética. A su vez, el escenario de transición sí considera estas acciones que permitirán en teoría una disminución en la oferta y consumo de energía, aunado a una disminución de las emisiones de GEI asociadas.

Los escenarios tienen como base la evolución esperada de diferentes actividades productivas en el país y de la población del mismo, ya que de ello depende en gran medida la dinámica de las variables de referencia.

Con TMCA de las diferentes actividades, se proyectó un crecimiento global estimado de 3.3 %, en un periodo que comprende de 2016 a 2050. Quedando un desglose porcentual en forma individual como el siguiente:

- Sector agropecuario: 2.9%.
- Sector Minería: 3.0%.
- Sector Manufacturero: 4.1%.
- Sector de la Construcción: 3.3%.
- Sector Servicios: 3.1%.

En cuanto a crecimiento poblacional dentro del mismo periodo se calcularon 137.5 millones de habitantes en 2030 y 150.8 millones en 2050.

Con ello la SENER pudo calcular los pronósticos de generación de energía y capacidad instalada por tecnología; y consumo final de energía por actividad económica, sin embargo, para poder llevar a cabo estos escenarios prospectivos se tuvo que fundamentar en los siguientes documentos internacionales:

- Informe México sobre las energías renovables 2050 del Fondo Mundial para la Naturaleza Programa México (WWF, por sus siglas en inglés)
- Reporte Vías para una profunda descarbonización 2014, capítulo México auspiciado por la Sustainable Development Solutions Network de las Naciones Unidas y el Institut du Développement Durable et des Relations Internationales de Francia durante 2014 y 2015
- Estudio Determinación de la línea base de consumo energético y potenciales de eficiencia energética sectoriales en México desarrollado por el Competence Center Energy Policy and Energy Markets del Fraunhofer ISI por encargo de la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ, por sus siglas en alemán)
- Energy Technology Perspectives 2016 de la Agencia Internacional de Energía.

Los resultados de escenarios prospectivos elaborados por SENER se compararán en un apartado más adelante con respecto a los resultados encontrados con la metodología utilizada como referencia en este trabajo.

### **5.2.1 Proyección de Centrales Eléctricas Eólicas y Fotovoltaicas con base en los resultados de la primera y segunda Subasta de Largo Plazo, hecha por el CENACE.**

Las prospectivas de desarrollo de las energías renovables y particularmente de la eólica y solar fotovoltaica, ya han empezado a tomar el dimensionamiento que se intenta, con la entrada en operación del MEM y con ello el inicio de las primeras dos subastas realizadas en 2015. Con estos mecanismos ejecutados por el CENACE, se tienen proyectadas la construcción y operación de 12 Centrales Eólicas entre 2018 y 2019. En total se espera la adición de 1,670 MW de capacidad instalada y la generación de aproximadamente 5,652 GWh al año y una emisión equivalente de Certificados de Energías Limpias de poco más de 5,606 GWh al año.

Tabla 5. 1 Subastas de largo plazo en 2015 de Centrales Eléctricas Eólicas.

| Razón Social   | Capacidad [MW]  | Energía [MWh/AÑO]   | CEL [CEL/AÑO]    | Fecha de operación comercial ofertada |
|--|-----------------|---------------------|------------------|---------------------------------------|
| <b>Primera subasta</b>                                   |                 |                     |                  |                                       |
| Energía Renovable de la Península, S. A. P.I. de C.V.    | 90              | 275,502             | 275,502          | 23/03/2018                            |
| Consorcio "Chacabal" (Aldesa Energías Renovables S.L.U.) | 30              | 113,199             | 113,199          | 28/03/2018                            |
| Consorcio "Chacabal" (Aldesa Energías Renovables S.L.U.) | 30              | 117,689             | 117,689          | 28/03/2018                            |
| Energía Renovable del Istmo II, S.A. de C.V.             | 168             | 585,731             | 585,731          | 01/09/2018                            |
| Consorcio de Energía Limpia 2016                         | 76              | 291,900             | 291,900          | 27/09/2018                            |
| <b>Segunda subasta</b>                                   |                 |                     |                  |                                       |
| Enel Green Power México S. de R.L. de C.V.               | 100.05          | 399,130             | 399,130          | 30/06/2019                            |
| Eólica de Oaxaca, S. A. P.I. de C.V.                     | 252             | 818,264             | 818,264          | 01/01/2019                            |
| Quetzal Energía México, S. A. P.I. de C.V.               | 148             | 393611.32           | 393611           | 29/06/2019                            |
| Parque Eólico Reynosa III, S. A. P.I. de C.V.*           | 387.5           | 1,613,417           | 1,613,416        | 28/02/2019                            |
| Parque Eólico El Mezquite, S. A. P.I. de C.V.            | 249             | 820,636             | 774,938          | 30/06/2019                            |
| Energía Renovable de la Península, S. A. P.I. de C.V.    | 90              | 0                   | 0                | 15/07/2018                            |
| Tractebel Energía de Altamira, S. de R.L. de C.V.        | 49.5            | 223,011             | 223,010          | 31/03/2019                            |
| <b>Total</b>   | <b>1,670.05</b> | <b>5,652,090.32</b> | <b>5,606,390</b> |                                       |

Fuente: CENACE, 2016.

\*Proyecto eólico conformado por 5 Centrales Eléctricas

Debido a diversas razones, los proyectos eólicos han tenido un gran auge a partir de 2012; y según las licitaciones hechas por CENACE en las dos subastas realizadas hasta 2016, se tiene programado la construcción de 5 centrales en la región noreste y 5 más en la región peninsular que representan el 76 % de la capacidad total subastada, es decir 1,270 MW. Al mismo tiempo que se construirá una central en la región norte del SEN y una más en la zona oriental de 252 MW, precisamente en el Istmo de Tehuantepec en Oaxaca cuyo potencial de aprovechamiento es muy significativo. Así pues, la Central Eólica de mayor capacidad proyectada en estas dos subastas se construirá en Tamaulipas perteneciente a la región noreste, la cual contará con una capacidad de 387.5 MW, generando así 1,613 GWh al año de energía.

Figura 5. 1. Proyección de capacidad instalada de Energía Eólica en México hasta 2019.



Fuente: Elaboración propia con información de CENACE, 2016.

En relación con las Centrales Fotovoltaicas, el CENACE tiene planeado incorporar al SEN cerca de 3,897 MW de capacidad instalada, y 8,461 GWh de energía al año, cuyos Certificados de Energías Limpias equivaldrían a 11,596 GWh al año, repartidos entre 37 Centrales Eléctricas en distintos puntos del país, a través de 20 consorcios diferentes.

Tabla 5. 2 Subastas de largo plazo en 2015 de Centrales Eléctricas Solares Fotovoltaicas.

| Razón Social  | Capacidad [MW] | Energía [MWh/AÑO] | CEL [CEL/AÑO] | Fecha de operación comercial ofertada |
|---|----------------|-------------------|---------------|---------------------------------------|
| <b>Primera subasta</b>  |                |                   |               |                                       |
| Sunpower Systems México S.de R.L. de C.V.                             | 100            | 269,155           | 263,815       | 01/08/2018                            |
| Enel Green Power México S. de R.L. de C.V.                            | 330            | 972,915           | 972,915       | 25/09/2018                            |
| Enel Green Power México S. de R.L. de C.V.                            | 250            | 737,998           | 737,998       | 25/09/2018                            |
| Enel Green Power México S. de R.L. de C.V.                            | 207            | 539,034           | 539,034       | 25/09/2018                            |
| Recurrent Energy México Development S. de R. L. de C.V.               | 63             | 140,970           | 140,970       | 20/09/2018                            |
| Vega Solar 1, S. A. P.I. de C.V.                                      | 500            | 493,303           | 493,303       | 01/08/2018                            |
| Vega Solar 1, S. A. P.I. de C.V.                                      | 500            | 246,832           | 241,935       | 01/08/2018                            |
| Jinkosolar Investment Pte. Ltd.                                       | 100            | 277,490           | 277,490       | 28/09/2018                            |
| Jinkosolar Investment Pte. Ltd.                                       | 70             | 176,475           | 176,475       | 28/09/2018                            |
| Jinkosolar Investment Pte. Ltd.                                       | 18             | 48,748            | 48,748        | 06/06/2018                            |
| Photoemeris Sustentable S.A de C.V.                                   | 30             | 54,975            | 53,477        | 01/01/2018                            |
| Consortio Sol de Insurgentes (Sol de Insurgentes S. de R. L. de C.V.) | 23             | 60,965            | 60,518        | 30/06/2018                            |

## 5. ESCENARIOS DE CAPACIDAD DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON METODOLOGÍA ENERGYPLAN

| Razón Social   | Capacidad [MW]  | Energía [MWh/AÑO] | CEL [CEL/AÑO]     | Fecha de operación comercial ofertada |
|--|-----------------|-------------------|-------------------|---------------------------------------|
| <b>Segunda subasta</b>                                 |                 |                   |                   |                                       |
| AT Solar*  | 180             | 478,261           | 478,260           | 30/06/2019                            |
| Energía Sierra Juárez Holding S. de R.L. de C.V.       | 41              | 114,116           | 117,064           | 15/06/2019                            |
| QPDE   | 82.5            | 213,655           | 213,655           | 01/01/2019                            |
| QPDE   | 29.67           | 75,854            | 75,853            | 01/01/2019                            |
| Kamet Energía México, S. A. P.I. de C.V.               | 125             | 353,466           | 353,466           | 29/06/2019                            |
| Consortio Guanajuato**                                 | 60              | 146,957           | 146,957           | 01/12/2018                            |
| X-Elio Energy, S.L.                                    | 80              | 193,771           | 193,771           | 30/06/2019                            |
| X-Elio Energy, S.L.                                    | 70              | 169,366           | 169,365           | 30/06/2019                            |
| Consortio ENGIE Solar Trompezón                        | 126             | 342,630           | 3,388,551         | 20/05/2019                            |
| Consortio SMX  | 100             | 278,358           | 285,606           | 15/06/2019                            |
| Consortio Fotowatio                                    | 300             | 779,161           | 779,161           | 30/06/2019                            |
| HQ México Holdings, S. DE R.L. DE C.V.                 | 101.8           | 252,445           | 252,444           | 01/01/2019                            |
| Alten Energías Renovables México Cuatro, S.A. de C.V.* | 150             | 373,577           | 420,335           | 30/09/2018                            |
| Alten Energías Renovables México Cuatro, S.A. de C.V.  | 140             | 348,467           | 392,082           | 29/06/2019                            |
| Bluemex Power 1, S.A. de C.V.                          | 90              | 249,982           | 249,982           | 01/01/2019                            |
| Green Hub, S. de R.L. de C.V.                          | 30              | 72,919            | 72,919            | 31/05/2019                            |
| <b>Total</b>   | <b>3,896.97</b> | <b>8,461,845</b>  | <b>11,596,149</b> |                                       |

Fuente: CENACE, 2016.

\* Proyecto fotovoltaico conformado por 5 Centrales Eléctricas

\*\* Proyecto fotovoltaico conformado por 2 Centrales Eléctricas

Además del auge que ha tenido la energía eólica, con la llegada del MEM las Centrales Eléctricas Fotovoltaicas también tendrán una mayor participación de la que habían tenido hasta antes del nuevo esquema de la industria eléctrica, ya que, con las dos subastas se busca agregar más Centrales al parque de generación del SEN, en zonas cuyo potencial de aprovechamiento ya había sido identificado previamente en el INERE y en el AZEL. Por esta razón la mayoría de las Centrales se encuentran ubicadas mayoritariamente en regiones como la occidental, norte y peninsular, entre ellas tres concentran casi el 79 % de la nueva capacidad instalada aportada por esta tecnología de generación, es decir poco más de 6,256 GWh de energía al año. Cabe destacar que existen dos proyectos solares que sobresalen con respecto a los demás, los cuales se ubicarán en la región peninsular y aportarán 500 MW de capacidad cada uno.



Figura 5. 2. Proyección de capacidad instalada de Energía Solar Fotovoltaica en México hasta 2019.



Fuente: Elaboración propia con información de CENACE, 2016.

Por su parte una de las actividades que de acuerdo con la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES), permitirán una mayor consolidación de esta fuente energética, es la generación distribuida. Puesto que se vislumbra una importante inversión acompañada de una madurez tecnológica que permitirá cada vez costos de producción energética cada vez más competitivos.

Ahora bien, el desarrollo de los proyectos de generación de energía eléctrica a través de fuentes renovables se hace con base en la planeación diseñada e implementada por la SENER con las metodologías ya mencionadas. No obstante, en este trabajo se emplea una alternativa diferente de solución que busca conocer la capacidad de generación con fuentes renovables que se puede incorporar al SEN. De esta forma, la metodología alterna de referencia está basada en un trabajo de doctorado realizado por Juan Vidal dividido en dos artículos, en ambos desarrolla y aplica la metodología EnergyPLAN y la metodología de Metodología de Combinación de Capacidad Mínima Total (MTMC por sus siglas en inglés), las cuales se describen en los siguientes apartados, junto con los resultados obtenidos en dicho trabajo.

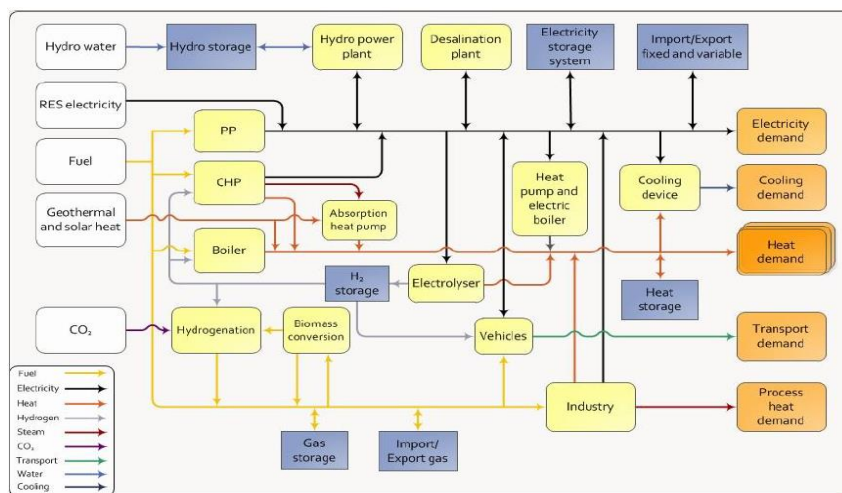
## 5.2 Metodología EnergyPLAN

Con la metodología EnergyPLAN se pretende diseñar estrategias de planeación energética a nivel macro, teniendo como ejes principales el análisis técnico y económico de dichas estrategias. La metodología se basa en el desarrollo de un sistema informático que estudia las interacciones de los flujos de energía (entradas y salidas) dentro de un sistema energético, en el cual pueden estar involucradas diferentes elementos tecnológicos de conversión y transporte de energía, como pueden ser redes de energía eléctrica, gas, calefacción urbana y refrigeración. El modelo simula dichas interacciones en periodos de un año con una resolución temporal de una hora para reflejar adecuadamente las fluctuaciones de las diferentes Fuentes de Energías Renovables (FER), puesto que el modelo EnergyPLAN, está diseñado para sistemas energéticos con un alto grado de fuentes renovables, (Vidal J., 2015). El modelo es utilizado por muchos investigadores, consultores y políticos en todo el mundo, a su vez se ha utilizado en cientos de publicaciones e informes científicos.

### 5.2.1 Análisis técnico

EL modelo del sistema energético en el cual se basa EnergyPLAN se esquematiza en la Figura 4.3. De esta manera los componentes de inicio se identifican como las fuentes energéticas que alimentan al sistema; y estas pueden ser los combustibles fósiles, las FER que generan electricidad, o bien el calor proveniente del sol o de la energía geotérmica, e inclusive el CO<sub>2</sub> para el proceso industrial de hidrogenación, la existencia de cada componente está en función del sistema energético en estudio. Esta energía que se vierte al sistema es transformada en otros usos finales dependiendo del tipo de usuario que la demande. La energía final utilizada puede ser electricidad, calor o frío, las cuales se identifican como parte de los componentes de salida del EnergyPLAN. Un aspecto relevante en esta metodología es la consideración de las importaciones y exportaciones principalmente de energía eléctrica y gas, ya que son factores imprescindibles para que un sistema energético cuente con la seguridad de satisfacer su demanda, (Lund H., 2015).

Figura 5. 3. Modelo de análisis de los sistemas de energía (EnergyPLAN).

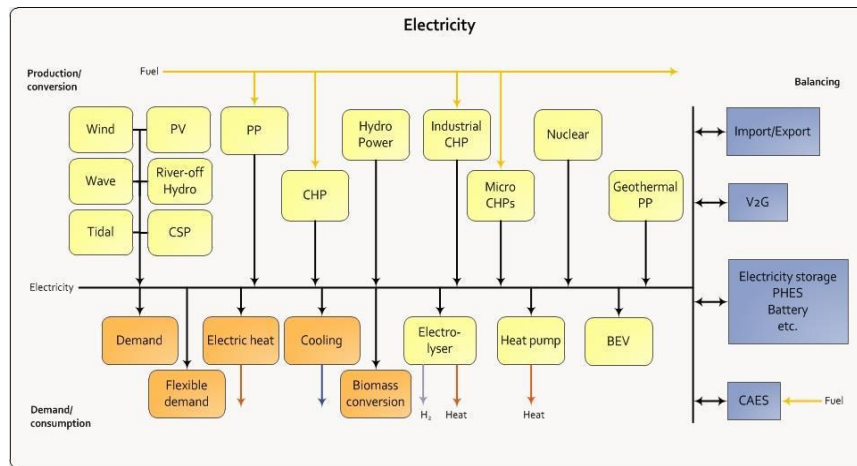


Fuente: Lund H., 2015.

Así entonces, cuando se aplica la metodología de EnergyPLAN debe haber un procesamiento de datos dentro del análisis metodológico técnico, en donde las variables de entrada son una descripción de la demanda de energía, las capacidades de producción y la eficiencia de las tecnologías de conversión, además de las fuentes de energía. Por su parte, las variables de salida o criterios de optimización son la producción energética (la cual consiste en balances energéticos anuales), capacidad de generación, reservas de energía, valores de importación y exportación energética, consumos de combustible y emisiones de CO<sub>2</sub>, (Vidal, J., 2015).

Sin embargo, EnergyPLAN también permite desagregar los sistemas y analizarlos por separado, pero manteniendo prácticamente la misma estructura que el sistema general. Específicamente con los sistemas eléctricos al igual que los demás elementos se puede simular sus interacciones de entrada y salida a través de los componentes que lo integran, tales como Centrales de generación con fuentes fósiles y renovables, plantas de Cogeneración, Centrales Nucleoeléctricas; y hasta los sistemas de almacenamiento de energía. Transportando la energía eléctrica hacia sus diferentes usos finales.

Figura 5. 4. Modelo de análisis de los sistemas eléctricos.



Fuente: Lund H., 2015.

### 5.2.2 Análisis económico

Existe a su vez la posibilidad de hacer una simulación económica de mercado, en la que los costos marginales de energía a corto plazo juegan un papel primordial. El análisis se centra en la reducción de los costos marginales al mínimo, considerando sólo los costos variables y no en los costos a largo plazo de las diferentes tecnologías de suministro de energía. La viabilidad económica también depende de los costos anuales totales bajo diferentes estrategias de diseño y simulación. Para ello, es necesario la entrada de variables tales como los costos de inversión, costos fijos de operación y mantenimiento, además del tiempo de vida útil y una tasa de interés.

Así entonces, los modelos de mercado actuales están diseñados principalmente para utilizar plantas o Centrales Eléctricas que estén consideradas dentro del despacho de carga base. Por lo tanto, la simulación económica de EnergyPLAN, cuyo modelo energético cuenta con altos niveles de energías renovables intermitentes, y por lo tanto algunas no despachables, no puede representar con precisión el pronóstico del suministro y demanda de energía dentro del mercado, (Lund H., 2015).

### 5.3 Escenario óptimo de capacidad de generación a través de EnergyPLAN y la Metodología de Combinación de Capacidad Mínima Total

Para la obtención de los escenarios óptimos el artículo de referencia sugiere que se requiere el uso de una metodología adicional a la de EnergyPLAN, la cual permite calcular la Combinación de Capacidad Mínima Total de generación de un Sistema Eléctrico. Esta metodología conjunta las simulaciones de análisis de viabilidad técnica (resultados obtenidos con EnergyPLAN), con las estimaciones de potenciales de FER, es decir datos de producción horaria y perfiles de demanda. Por su parte, es necesario tener una base de Centrales Eléctricas que funcionen con combustibles fósiles y que tengan flexibilidad de operación dentro del despacho económico de carga. Lo que se desea con estas condiciones de utilización de Centrales base, es aportar seguridad y confiabilidad al SEN, y así con esto facilitar la integración de las Centrales de energía eólica y fotovoltaica y la intermitencia intrínseca en este tipo de fuentes. Además, si el despacho de carga de dichas Centrales no fuese suficiente, se podría recurrir a la importación de energía para poder balancear el Sistema y satisfacer la demanda en todo momento.

Una vez teniendo como argumento los valores de capacidad de generación de cada Central eléctrica seleccionada como base, deben ser introducidos a EnergyPLAN para cada simulación de escenarios. Estos valores de capacidad se dividen en forma de rangos para cada FER, en este caso es necesario hacerse para Energía Eólica y para Solar Fotovoltaica, la resolución de capacidad de generación debe ser valores de interés de 5 ó 10 GW, por ejemplo. Las simulaciones se obtienen fijando un valor de capacidad de una fuente en específico y la otra se hace variar en función de los valores fijados previamente, conforme a la resolución de capacidad que se haya establecido. En particular, si se combinan dos FER el cálculo resulta más sencillo, sin embargo, la metodología es aplicable hasta  $n_i$  fuentes teniendo como apoyo una herramienta en EnergyPLAN para cálculos en serie.

Cuando ya se hayan construido los primeros escenarios, es posible dilucidar la respuesta del sistema a las contribuciones de las FER, es decir, el porcentaje total que aportarían en su conjunto al SEN en términos de capacidad de generación. Además de esto, cuando se encuentra el déficit de energía significa que se ha identificado el valor de la capacidad adicional despachable para integrarse dentro del sistema, la cual solo puede ser cubierta por Centrales con tecnologías convencionales y/o FER despachables, (Vidal, J., 2015).

Por lo anterior, en la tabla 4.3 se compila los resultados calculados y contenidos en el artículo referente. El autor sugiere una base de Centrales de Ciclo Combinado utilizando en primera instancia gas natural (CC-GN), y gradualmente propone combinarlo con biogás en diferentes grados de utilización, además vislumbra un aumento significativo en el uso de biomasa para generación eléctrica, llegando a una aportación de 11,000, 6,500 y 3,000 MW, que representan los posibles escenarios utilizando bioenergía esto es, alto, medio o bajo.

Ahora bien, teniendo en cuenta los costos de inversión, operación y los costos de mantenimiento, y los costos de combustible, se encontró que en la transición de combustibles los escenarios se vuelven económicamente atractivos para precios de gas natural más altos de 2.68 USD<sup>13</sup>/GJ que cuando se considera una reducción de la inversión en los costos relacionados con el progreso en las tecnologías para explotar las fuentes renovables. Bajo este panorama también se encontró que los costos de mitigación de carbono son iguales a cero para un precio de gas natural de 2.67 USD/GJ y son negativos para precios de gas natural más altos, (Vidal, J., 2015).

Como ya se mencionó las metodologías MTMC y EnergyPLAN permiten combinar diversas FER que se pueden integrar al sistema, no obstante, en este caso solo interesa la combinación de capacidad de generación de Centrales Eólicas y Fotovoltaicas, el resto de las tecnologías utilizadas en el SEN se le asigna como energía remanente.

Dado que la metodología busca obtener la mezcla mínima de Centrales Eléctricas que satisfagan la demanda energética, el autor define como escenario óptimo la combinación de capacidad de generación más baja para el año 2024. Alcanzando apenas 88,928 MW de capacidad total, entre la cual se espera que la energía Eólica aporte 5,000 MW y 15,000 MW la energía Fotovoltaica. En este escenario el grado de uso de bioenergía es medio, 2,500 MW destinados a las Centrales de Ciclo Combinado y los otros 4,000 MW a Centrales que operarían con biomasa para ese año, de acuerdo con los cálculos propuestos en el trabajo de referencia.

---

<sup>13</sup> Dólares a precio de 1997

*Tabla 5. 3 Combinaciones que resultan en las capacidades totales más bajas de Biocombustibles, Eólica, Fotovoltaica y Ciclo Combinado de Gas Natural, incluyendo la energía restante de las Centrales Nucleares, Geotérmicas, Hidroeléctricas y termoeléctricas convencionales que no son de Ciclo Combinado.*

| Escenario           | Bio (MW) | Eólica (MW)  | Fotovoltaica (MW) | CC-GN (MW)    | Subtotal (MW) | Remanente de energía (MW) | Total (MW)    |
|---------------------|----------|--------------|-------------------|---------------|---------------|---------------------------|---------------|
| FER Alto - Bio Bajo | 3000     | 1,000        | 27,000            | 35,800        | 66,800        | 30,493                    | 97,293        |
|                     |          | 5,000        | 22,000            | 35,000        | 65,000        |                           | 95,493        |
|                     |          | 10,000       | 16,000            | 35,213        | 64,213        |                           | 94,706        |
|                     |          | 15,000       | 10,000            | 36,185        | 64,185        |                           | 94,678        |
|                     |          | 20,000       | 1,000             | 43,000        | 67,000        |                           | 97,493        |
| FER Alto- Bio Medio | 6500     | 1,000        | 20,000            | 32,324        | 59,824        | 30,493                    | 90,317        |
|                     |          | <b>5,000</b> | <b>15,000</b>     | <b>31,935</b> | <b>58,435</b> |                           | <b>88,928</b> |
|                     |          | 10,000       | 7,000             | 35,300        | 58,800        |                           | 89,293        |
|                     |          | 15,000       | 1,000             | 39,628        | 62,128        |                           | 92,621        |
|                     |          | 20,000       | 1,000             | 39,408        | 66,908        |                           | 97,401        |
| FER Alto- Bio Alto  | 11,000   | 1,000        | 1,000             | 36,623        | 49,623        | 30,493                    | 80,116        |

Fuente: Vidal J., 2015.

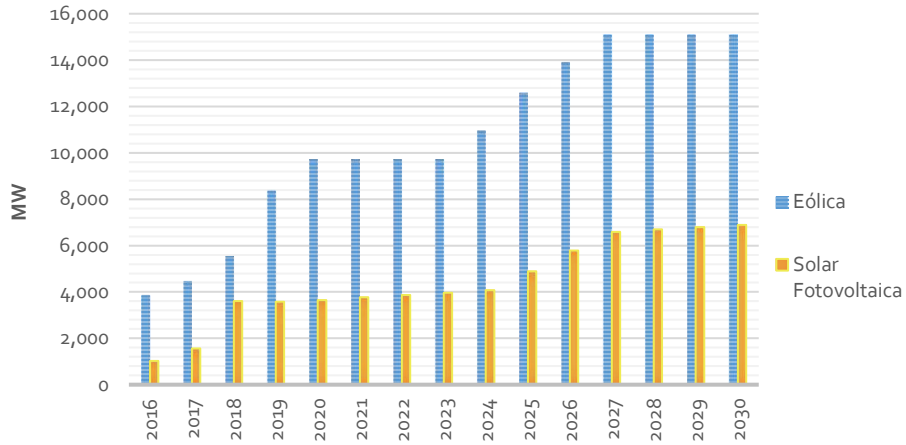
#### 5.4 Comparación entre escenarios prospectivos de SENER y el escenario de referencia con EnergyPLAN

Es importante definir las diferencias entre ambos escenarios en estudio, por una parte, las prospectivas calculadas por SENER difieren en aspectos relevantes como en el crecimiento exponencial que suponen tendrá la energía eólica en los próximos años, llegando a tener hasta 10,965 MW de capacidad instalada en 2024, además, se espera un crecimiento sostenido de las Centrales de Ciclo Combinado alcanzado 40,592 MW, por el contrario, las Centrales con bioenergía tendrían casi los mismos 704 MW que se tuvieron hasta 2016, (SENER, PRODESEN, 2016-2030). Las Centrales Fotovoltaicas ocuparán en este escenario prospectivo solo apenas el 4.1 % lo que representa 4,070 MW de capacidad.

Comparativamente en los próximos años la capacidad de generación con energía eólica tendrá una mayor participación respecto a la solar fotovoltaica, según los escenarios evolutivos de la SENER. Esto significaría que los costos nivelados de la energía eólica serán más bajos que los actuales, por lo que podrá casi alcanzar en algunos años a la capacidad de generación con energía hidroeléctrica, y con ello seguir siendo la segunda fuente de generación de energía limpia dentro del SEN, pero superando a Centrales con tecnologías fósiles como las Termoeléctricas convencionales o las Carboeléctricas, debido también a que estas Centrales están operando con factores de planta muy bajos.

La SENER proyectó escenarios todavía más allá del año 2024, de los cuales se puede visualizar una tendencia al alza en cuanto a capacidad y generación eléctrica, por lo menos hasta 2030 y más aún en 2050. Estos periodos tienen relevancia porque permiten tener una idea un poco más precisa sobre la variabilidad y tendencia que tendrán la Energía Eólica y Solar Fotovoltaica y con ello ratificar la importancia que tendrán estas tecnologías en las próximas décadas.

Figura 5. 5. Evolución de la capacidad de generación eléctrica con fuente Eólica y Solar Fotovoltaica, 2016-2030.



Fuente: Elaboración propia con información de SENER (PRODESEN 2016-2030), 2016.

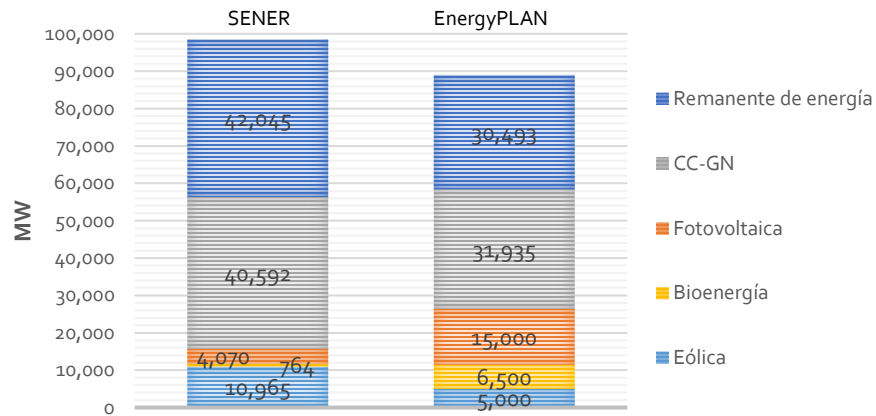
Mientras que en el escenario inferido con EnergyPLAN, se planea una mayor presencia de energía Fotovoltaica con respecto al escenario de SENER ocupando hasta el 16.8 %. En consecuencia, la bioenergía también sería representativa en el despacho de carga siendo el biogás un combustible alternativo al gas natural en las Centrales de Ciclo Combinado. La presencia de este energético en la producción de energía es determinante para la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, lo cual contribuye a un Sistema Eléctrico más sostenible.

En general, la razón por la que se apuesta a un mayor consumo de biogás es porque podría ser más factible sustituir al gas natural y seguir aprovechando las Centrales de Ciclo Combinado haciendo las adecuaciones pertinentes, que tener que construir más Centrales de otras fuentes renovables como la hidroenergía o la geotérmica, para aumentar la capacidad de generación. Pero principalmente se piensa que podría competir con el gas natural debido al alto potencial de aprovechamiento de los recursos energéticos de residuos ganaderos, agrícolas y desechos municipales. Sin embargo, es una acción para evaluarse con mayor detalle debido al auge y los bajos precios del gas natural que tiene actualmente y que vaticinan tendrá en los siguientes años.

Cabe mencionar, que existe una diferencia del 10.6 % entre la capacidad total de generación de ambos escenarios, puesto que en las proyecciones de SENER la capacidad del Sistema Eléctrico llegará a 98.4 GW, y en EnergyPLAN se calcula en 88.9 GW.

## 5. ESCENARIOS DE CAPACIDAD DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON METODOLOGÍA ENERGYPLAN

Figura 5. 6. Comparación de escenarios de capacidad de generación eléctrica para 2024, escenario SENER vs escenario EnergyPLAN.



Fuente: Elaboración propia con información de Vidal, J., 2015 y SENER (PRODESEN 2016-2030), 2016.

Un aspecto que considerar dentro de la evolución de la capacidad de generación y de la propia generación, es la sustitución de Centrales eléctricas, para ello la SENER elabora dentro del PRODESEN un Programa Indicativo para la Instalación y Retiro de Centrales Eléctricas (PIIRCE), dicho programa es necesario para la planeación a largo plazo, y está enfocado a la optimización del SEN, al buscar la combinación más económica de nuevas inversiones de generación con el fin de satisfacer la demanda y con ello lograr el cumplimiento de las metas de energía limpia.

El PIIRCE contempla factores como el comportamiento de la demanda y consumo de energía ligado a los precios de los combustibles y al PIB nacional, con estas variables se define el desarrollo de infraestructura vinculada a la generación de energía eléctrica, tal y como puede ser la construcción de nuevas redes transmisión y redes de gasoductos para abastecer Centrales con tecnología fósil (SENER, PRODESEN, 2016-2030).

La sustitución de Centrales eléctricas se hará según el PIIRCE, con base en criterios operativos y económicos que optimicen el funcionamiento del SEN y que satisfaga la demanda eléctrica.

Figura 5. 7. Retiro de capacidad por entidad federativa de 2016 a 2030.

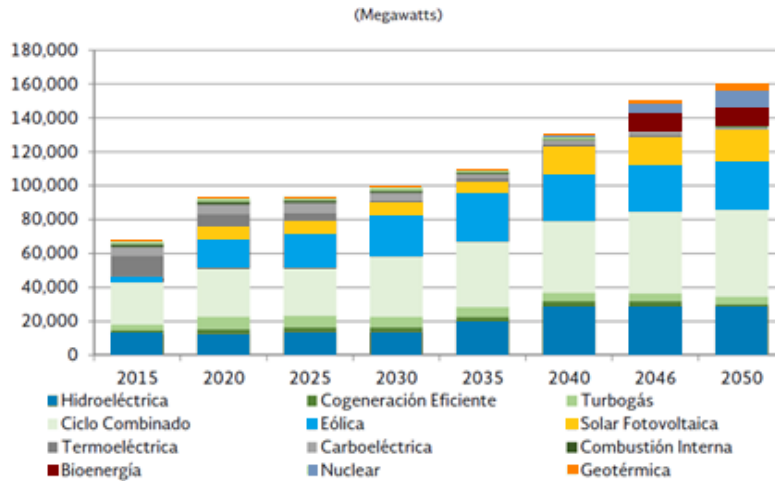


Fuente: SENER (PRODESEN 2016-2030), 2016

## 5. ESCENARIOS DE CAPACIDAD DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON METODOLOGÍA ENERGYPLAN

Según la SENER tiene pronosticado un incremento del poco más del doble en capacidad de generación entre 2015 y 2050 (160 000 MW), y en el que la energía hidroeléctrica tendrá una mayor participación de la que tiene actualmente por lo que seguirá siendo la principal fuente de energía limpia, y por debajo de ella la energía eólica y la solar fotovoltaica acortarán la diferencia de la que se tuvo en 2015. Cumpliendo con ello la meta planteada en la LTE para 2024.

Figura 5. 8. Evolución de la capacidad de generación eléctrica por tecnología, 2015-2050.

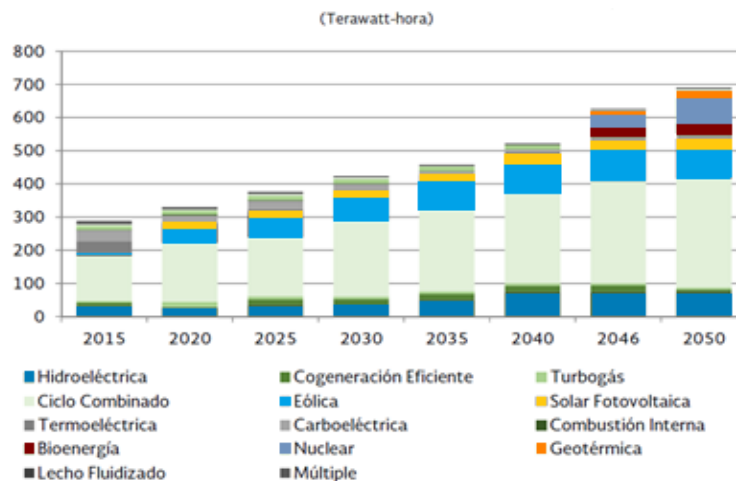


Fuente: SENER (Estrategia de Transición), 2016.

Siguiendo la misma tendencia, la generación se mantendría con una proporción similar a la capacidad, generando energía mayoritariamente con Centrales de Ciclo Combinado, aunque evidentemente las energías limpias aportarían un porcentaje mayor con respecto 2015.

Teniendo disponible un parque de generación igualmente diversificado, la generación alcanzaría en 2050 niveles cercanos a los 700 TWh, aumentando con esto más de doble de la generación que se tuvo en 2015. Por su parte en 2025 apenas sobrepasaría los 380 TWh, pero teniendo ya una aportación mayor de energía a través de Centrales Eólicas y Fotovoltaicas.

Figura 5. 9. Evolución de generación eléctrica por tecnología, 2015-2050.



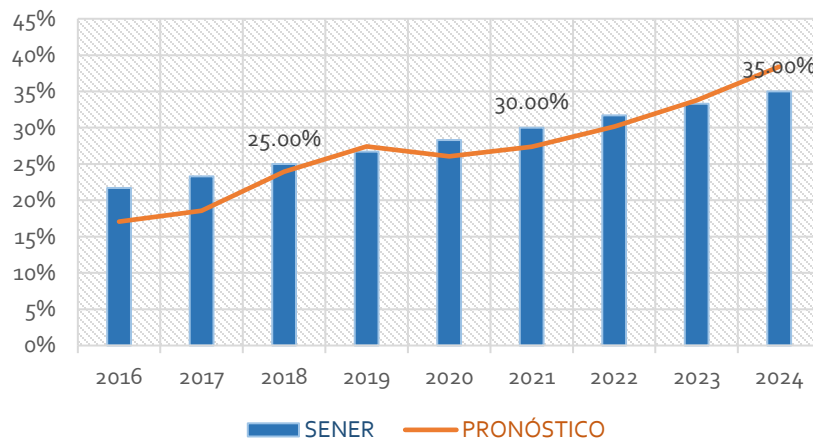
Fuente: SENER (Estrategia de Transición), 2016.



Una vez identificadas las tendencias de capacidad y generación de ambos escenarios, se puede concluir que ambos son factibles de realizar si se considera las condiciones base de cada metodología. En EnergyPLAN, por ejemplo, se estableció el uso de Centrales de Ciclo Combinado empleando biogás (desechos municipales y/o desechos de ganado) para dar estabilidad al SEN y aumentar la confiabilidad en la generación, esa condición marca diferencia con respecto a las perspectivas que tiene SENER, ya que en ellas el gas natural es el principal combustible. Por ejemplo, para el biogás se tienen cálculos estimados de aprovechamiento de 8,400 MW (Vidal J., et al. 2015), lo cual representaría una capacidad significativa de reemplazo de gas natural, sin embargo, el desarrollo de la infraestructura necesaria para generar biogás elevaría los costos, por lo que habría que elaborar estudios de costo beneficio para este tipo de proyectos.

Incluso si se proyecta la tendencia de generación con TMCA, tomando como referencia los niveles de generación reportados por el Sistema de Información Energética de la SENER, y se le agrega la generación que se obtendría hasta 2020 con las nuevas Centrales Eléctricas subastadas, la trayectoria todavía sería ligeramente mayor al 35 % esperado para 2024, (Figura 5.9).

Figura 5. 10. Trayectoria de las metas de Energías Limpias 2016-2024.



Fuente: SENER (PRODESEN 2016-2030), 2016.

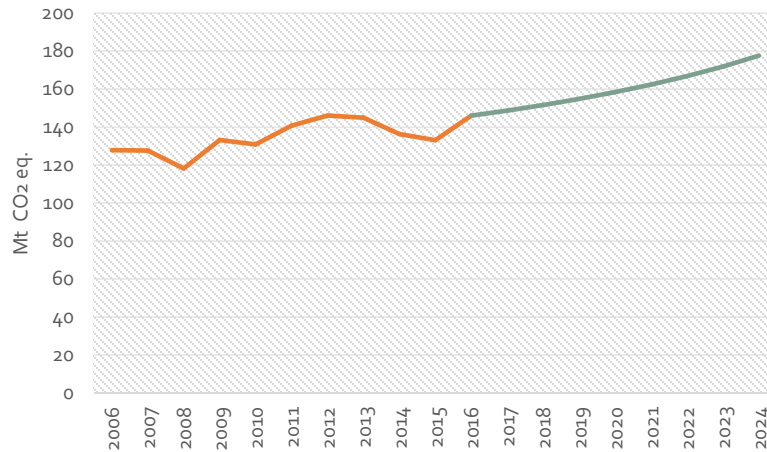
### 5.5 Emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a la generación de energía eléctrica

Por consecuencia, las emisiones de CO<sub>2</sub> vinculadas a la generación eléctrica se verán afectadas en menor o mayor grado por los cambios presentados en ambos escenarios, principalmente por la estructura de combustibles utilizados según los pronósticos. Pero al mismo tiempo depende de otras variables que se vayan suscitando conforme a la dinámica del sector energético y demás actividades relacionadas, por ejemplo, los precios de los energéticos, el desarrollo de tecnología para la captura o secuestro de CO<sub>2</sub>, el uso de combustibles fósiles con menos contenido de carbono.

Agregando las emisiones de otros gases presentes en la combustión dentro de las Centrales fósiles como el metano (NH<sub>4</sub>), y el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), se calculó las emisiones equivalentes de CO<sub>2</sub> con la ayuda del potencial de calentamiento de cada gas (25 para el NH<sub>4</sub> y 298 para el N<sub>2</sub>O), y con ello se pudo obtener el total de emisiones debido a la generación de energía eléctrica de 2006 a 2015 y las proyecciones de 2016 a 2024 con TMCA. De esta forma, se estima que para 2024 las emisiones de CO<sub>2</sub> eq. podría llegar a 177. 8

millones de toneladas, pero sin considerar directamente variables como el uso eficiente y el ahorro de energía, de otra forma se podría sumar todavía una tendencia positiva en cuanto a la cantidad de emisiones generadas

Figura 5. 11. Emisiones de CO<sub>2</sub> debido a la generación eléctrica en México 2006-2024.



Fuente: Elaboración propia con base en metodología de cálculo de emisiones de IPCC, 2006.

# CAPÍTULO 6

## INTEGRACIÓN DE LAS FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE AL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL BAJO EL DESARROLLO DEL MERCADO ELÉCTRICO MAYORISTA

Con relación al siguiente capítulo, se tomarán los resultados contrastados entre ambas metodologías de proyección de escenarios (EnergyPLAN y SENER), que servirán de base en la identificación de factores que desempeñen acciones específicas para la integración de proyectos que impliquen el aprovechamiento de las FER con las que el país dispone, para así lograr el objetivo de la transición energética al 2024.

### 6.1 Factores de integración de las energías renovables al Sistema Eléctrico Nacional (SEN)

Para que se logre cumplir el objetivo principal de la transición energética se deben realizar una serie de actividades que en su conjunto conduzcan a un desarrollo de proyectos en los que se involucre un uso más intensivo de FER en el sistema energético del país y en el SEN particularmente, tomando en consideración principalmente la reducción en los costos de generación y el riesgo financiero que implican estos proyectos, equilibrando a su vez los subsidios que puedan recibir este tipo de proyectos por parte del gobierno. Aunque estas actividades se lleven a cabo en forma gradual, sin duda contribuirán a que la energía principalmente eléctrica provenga de fuentes más limpias.

No solo basta la construcción de más Centrales Eléctricas que utilicen combustibles limpios, sino que es ineludible el desarrollo de infraestructura, tecnología, e implementación de mecanismos financieros y de mercado, o bien la creación de políticas de estado que propicien el fortalecimiento del sistema energético nacional. Todos estos factores de integración denominados así debido a la función que ejercen dentro del SEN, se han gestado a través de los diversos mecanismos de planeación y de política energética derivados de la Reforma de 2013.

Bajo este panorama, se establecieron como factores a las actividades que tienen un mayor impacto dentro del Sistema Eléctrico para lograr el objetivo, los factores surgen como contraparte a lo que Frederick Beck llamó en su artículo<sup>14</sup> barreras para la energía renovable, en él explica las razones por las cuales las energías renovables no habían logrado hasta la década de los noventa la penetración suficiente para poder competir en el mercado de la energía. Básicamente la explicación la enfoca entre otras cuestiones a los costos asociados a la generación y una baja promoción de políticas que impulsen su aprovechamiento. Debido a que su análisis lo centra en condiciones que sucedieron hace más de 20 años, factores que en esa época eran consideradas como barreras, actualmente se puede enunciar que dicho

---

<sup>14</sup> Renewable Energy Policies and Barriers

## 6. INTEGRACIÓN DE LAS FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE AL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL BAJO EL DESARROLLO DEL MERCADO ELÉCTRICO MAYORISTA

factor ya no es una barrera y que por el contrario es ya un factor que coadyuva a la integración de las renovables al sistema. Un ejemplo muy claro de la aseveración anterior es el costo de generación en este tipo de energías, en años anteriores era una limitante para que los inversores se decidieran a construir Centrales Eléctricas con FER, ahora se está llegando a un punto en el que las FER como la solar o eólica tienen costos casi tan competitivos como otras Centrales convencionales que no son renovables, e incluso en algunos casos los costos son menores con FER, por ejemplo, en España.

Una de las razones por la que las condiciones de mercado han cambiado en estos últimos años, es sin duda las subvenciones que han hecho los gobiernos en diferentes partes del mundo para que las FER tengan la presencia en las matrices energéticas que se tiene actualmente en los sistemas de energía.

Los factores se agruparon en forma matricial para identificar de manera más sencilla la incidencia o correlación que tienen éstos, con los mecanismos fundamentales de integración, como lo es la Tecnología, economía y la política. En cada cuadrante de la matriz se describe si es el que aplica la relación entre ambos parámetros. De manera arbitraria se asignó una calificación ponderada dependiendo del grado de impacto que tiene cada correlación donde 1 significa muy bajo impacto y 5 el mayor impacto posible. Esto supone que las variables de correlación que tengan una mayor calificación, sus efectos en cuanto a niveles de integración se refieren serán más representativos.

Adicionalmente las interacciones entre los parámetros de integración tuvieron una descripción cualitativa, cuya información está referenciada en los documentos bibliográficos del tema.

De tal forma que el arreglo matricial queda como se muestra en la Tabla 6.1.

*Tabla 6. 1. Matriz de factores de integración de las Fuentes de Energías Renovables al SEN.*

| FACTORES DE INTEGRACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES AL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL |   |   |   |
|--|---|---|---|
|  | Infraestructura, Tecnología y Operación   | Económico, Financiero y Comercial   | Política Energética   |
| Certificados de Energías Limpias   | Los CEL'S aseguran la generación de energía eléctrica a través de fuentes renovables, e incide directamente en la creación de centrales eléctricas, con la compraventa obligada de títulos que representan unidades de generación eléctrica (MW/h). | Con la implementación de los CEL'S se promueven nuevas inversiones en energías limpias, lo cual significaría un atractivo adicional para las empresas generadoras que participan en el MEM. | Instrumento del Mercado Eléctrico que al obligar a los demandantes comprar certificados equivalentes a unidades de generación (MWh), dentro del Mercado Eléctrico Mayorista (MEM).  |
|  | 4   | 4   | 3   |
| Costos de Operación  | Al reducirse los costos de insumos tecnológicos asociados a la infraestructura de Centrales Eléctricas, conlleva beneficios financieros, puesto que el costo de operación de estas Centrales disminuye.   | Es una variable que al disminuir paulatinamente propicia que las centrales eléctricas renovables sean más competitivas con respecto a las que utilizan combustibles fósiles.                | Con la política que ofrece ahorro en los costos de manufactura para ciertos proveedores de insumos al sector de energía renovable, impacta directamente en los costos de operación de las Centrales Eléctricas con esta tecnología. |

## 6. INTEGRACIÓN DE LAS FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE AL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL BAJO EL DESARROLLO DEL MERCADO ELÉCTRICO MAYORISTA

### FACTORES DE INTEGRACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES AL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL

|   | Infraestructura, Tecnología y Operación  | Económico, Financiero y Comercial   | Política Energética  |
|---|--|---|--|
|   | 3  | 4   | 3  |
| Redes Eléctricas Inteligentes   | Al implementar las REI, se utiliza equipo tecnológico que opera y administra de forma más eficiente los recursos energéticos del Sistema Eléctrico, al mismo tiempo que se hace compatible al sistema al compensar la intermitencia de las fuentes renovables de energía.                                | Las inversiones que se tienen establecidas en los instrumentos de planeación correspondientes al desarrollo del SEN, demuestran la importancia que tendrán las REI tanto a nivel gubernamental como al sector privado.                    | Existen políticas para el despliegue de Redes Eléctricas Inteligentes, las cuales se incluyen en el Programa de Redes Eléctricas Inteligentes elaborado con el propósito de promover la instalación de los recursos suficientes para satisfacer la demanda en el SEN y cumplir con los objetivos de Energías limpias y/o renovables. |
| + Líneas de transmisión   | Una aplicación sobresaliente de las REI es la construcción a de líneas de transmisión principalmente de corriente directa, que procuren descongestionar de energía en zonas con un alto potencial de aprovechamiento de fuentes renovables, aumentando con ello la eficiencia en la operación de la red. | Con la construcción de nuevas líneas de transmisión los costos de energía serán más bajos puesto que habrá más nodos de transmisión y menos pérdidas de energía, disminuyendo con ello los costos marginales de las Centrales Eléctricas. | EL desarrollo de nuevas líneas de transmisión está contemplado en el PRODESEN por lo que es considerado como proyectos prioritarios en la planeación del SEN en los próximos años.   |
| + Sistemas de Almacenamiento de Energía                               | El uso de una red de almacenamiento de energía provee servicios de regulación asociados a los servicios conexos ofertados en el Mercado Eléctrico.   | Con los Sistemas de Almacenamiento dentro del SEN, se puede prescindir de aumentar la capacidad de generación disminuyendo con ello las inversiones en nuevas Centrales para el suministro de energía.                                    | Se establece como uno de los objetivos del Programa Especial para la Transición Energética, puesto que se busca incrementar la capacidad de almacenamiento, lo cual ayudará al despacho eficiente de energías renovables.  |
|   | 4  | 3   | 3  |
| Sistemas de Información para el aprovechamiento de fuentes renovables | Al utilizar los sistemas de información desarrollados por SENER, se facilita la construcción óptima de nuevas Centrales Eléctricas con tecnología renovable.   | Se reducen los costos de inversión debido a la disponibilidad de sistemas de información para poder desarrollar proyectos eólicos y fotovoltaicos, entre otras fuentes.   | De acuerdo con la Ley de Transición Energética, la Secretaría de Energía elaboró el Inventario de Energías Renovables (INERE) y el Atlas de Zonas con Energías Limpias (AZEL), con el objetivo de proveer una plataforma de acceso público que facilitará el desarrollo de centrales fotovoltaicas y eólicas, entre otras.           |
|   | 3  | 2   | 2  |

6. INTEGRACIÓN DE LAS FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE AL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL  
BAJO EL DESARROLLO DEL MERCADO ELÉCTRICO MAYORISTA

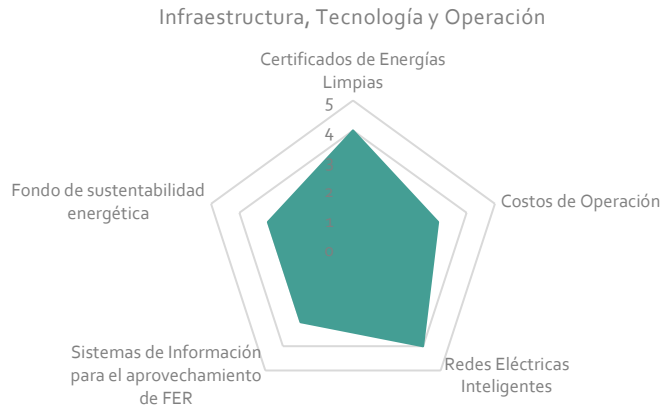
| FACTORES DE INTEGRACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES AL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL |   |   |   |
|--|---|---|---|
|  | Infraestructura, Tecnología y Operación   | Económico, Financiero y Comercial   | Política Energética   |
| Fondo de Sustentabilidad Energética (FSE)                                    | Con el Fondo de sustentabilidad se han realizado inversiones importantes para el desarrollo de infraestructura de ampliación del SEN.   | El Fideicomiso busca impulsar a través de financiamientos la investigación científica y tecnológica aplicada, así como la adopción, innovación, asimilación y desarrollo tecnológico en materia de fuentes renovables de energía, Eficiencia energética, uso de tecnologías limpias, y diversificación de fuentes primarias de energía. | Con este Fondo se pretende apoyar institucionalmente las capacidades tecnológicas de todos los involucrados en el sector energético, con la implementación de programas, proyectos y actividades. |
| + Centros Mexicanos de Innovación en Energía                                 | Los CEMIE'S permitirán incorporar recursos humanos y tecnológicos especializados para el desarrollo y transferencia del conocimiento en el área de energías renovables. Por lo que la tecnología juega un papel imponderable con estos centros. | Con la injerencia de los centros se distribuye de forma más equitativa y homogéneamente las inversiones en investigación y desarrollo en energías renovables.   | Con los CEMIE'S se instruye la construcción de una base científica y tecnológica, lo cual representa un eje principal en la política energética del país.   |
|  | 3   | 4   | 3   |

Fuente: Elaboración propia.

Una vez identificadas las relaciones entre los distintos factores, se realizó una representación gráfica de los impactos que inciden en parámetros como la infraestructura, tecnología y operación. En este caso los CEL's y las Redes Eléctricas tuvieron una mayor significancia conforme a la información disponible que indicaba una mayor posibilidad de poder desarrollar proyectos con energías limpias (nivel de impacto) en términos de infraestructura, tecnología y operación. Por esa razón se le asignó un mayor puntaje de ponderación en la matriz de factores. No obstante, los demás factores tuvieron una cierta importancia que también repercuten en este primer parámetro.

## 6. INTEGRACIÓN DE LAS FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE AL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL BAJO EL DESARROLLO DEL MERCADO ELÉCTRICO MAYORISTA

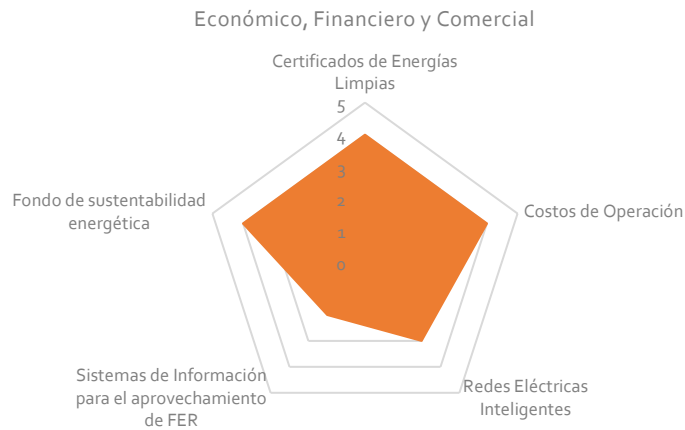
Figura 6. 1. Nivel de impacto de los factores en la integración de las FER en cuanto a Infraestructura, Tecnología y Operación.



Fuente: Elaboración propia.

El segundo parámetro analizado fue la cuestión económica, financiera y comercial; y bajo este concepto los CEL's, el Fondo de Sustentabilidad Energética y los Costos de Operación tuvieron un mayor nivel de impacto para permear el desarrollo de los proyectos renovables.

Figura 6. 2. Nivel de impacto de los factores en la integración de las FER en cuanto a lo Económico, Financiero y Comercial.

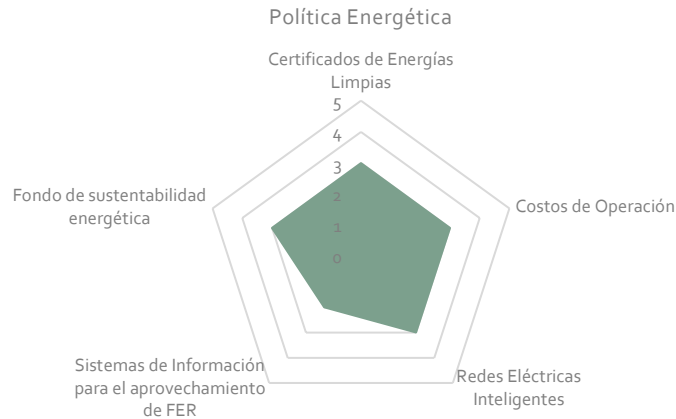


Fuente: Elaboración propia.

El tercer parámetro correspondió a la Política Energética, y en términos de éste, el mayor impulso a los proyectos se derivó de factores como los CEL's, el FSE, los Costos de Operación y las REI. Esto significa que estos factores están muy bien establecidos en la planeación energética del país con un enfoque de política prioritaria a desarrollar, según los documentos consultados.

## 6. INTEGRACIÓN DE LAS FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE AL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL BAJO EL DESARROLLO DEL MERCADO ELÉCTRICO MAYORISTA

Figura 6. 3. Nivel de impacto de los factores en la integración de las FER en cuanto a Política Energética.



Fuente: Elaboración propia.

Así pues, en el siguiente apartado se describe de manera más puntual cada uno de los factores asignados en la matriz, justificando la razón por la que fueron seleccionados como factores que ayudarían a la integración de las fuentes renovables al SEN.

### 6.1.1 Los Certificados de Energías Limpias como elementos de integración de FER

Como ya está establecido en la ley, los Certificados son un instrumento para promover nuevas inversiones en energías limpias y permiten transformar en obligaciones individuales las metas nacionales de generación limpia. Con este nuevo componente del MEM se espera propiciar una tendencia creciente por construir más plantas con fuentes renovables al volverse más atractivo para las empresas generadoras, puesto que adicionalmente a la venta de energía tendrían un artificio de mercado que aseguraría la comercialización de su energía dentro del MEM.

Para empezar la inclusión de los CEL's en el Mercado, el CENACE puso en marcha a partir de 2015 la primera y en 2016 la segunda Subasta de Largo Plazo (SLP). En ambas se asignaron en distintas proporciones a todas las empresas generadoras participantes que ganaron la licitación, un total de 17,202,539 CEL's al año, que equivalen a la misma cantidad en MWh en ese mismo periodo. Lo cual representaría el 6.5 % de la generación total de energía que se tuvo en 2016. Las empresas generadoras cuyas Centrales estarán operando en los próximos años de acuerdo con las subastas 1 y 2, les fueron asignados 11,596,149 CEL's a Centrales Fotovoltaicas que representa el 67.4 % del total subastado. El 32.6 % restante fueron otorgados a las Centrales Eólicas que sumaron 5,606, 390 CEL's entre todas las empresas participantes.

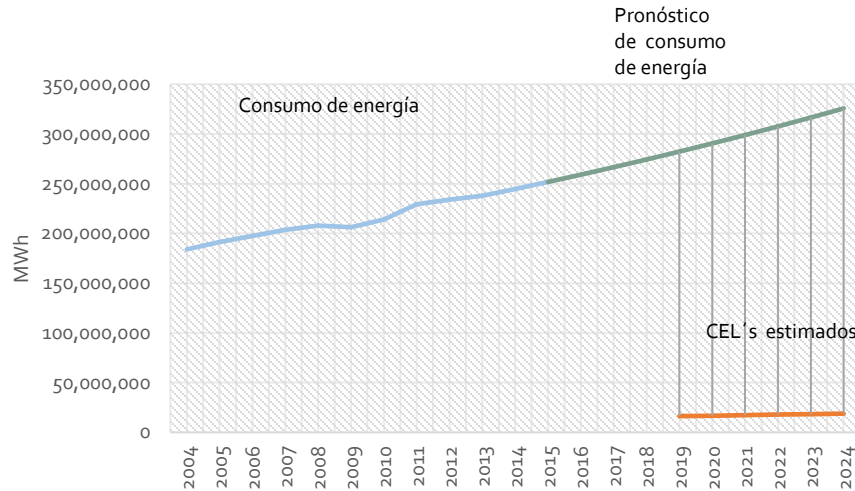
Con el Aviso por el que se da a conocer el Requisito para la adquisición de Certificados de Energías Limpias en 2019, la CRE advierte que los grandes consumidores tienen la obligación de demostrar que por lo menos el 5.8 % del total de energía consumida en 2019 debe de provenir de fuentes limpias. Bajo esta directriz se realizó un cálculo estimado de certificados que podrían ser emitidos de 2019 a 2024, tomando en consideración un pronóstico de consumo de energía con base en información de la Prospectiva del Sector Eléctrico 2015-2029, y además se tomó en cuenta el total de energía consumida, puesto que es la energía que inevitablemente se tiene que comercializar en el MEM a través de diferentes modalidades y



## 6. INTEGRACIÓN DE LAS FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE AL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL BAJO EL DESARROLLO DEL MERCADO ELÉCTRICO MAYORISTA

en la que involucra a todos los participantes obligados. Como se puede observar en la Figura 5.1, la tendencia de consumo es creciente desde 2004 hasta 2014, tomando en cuenta una TMCA de 2003 a 2004, a partir de 2015 se proyectó el consumo de energía hasta 2024, la cual como se puede observar la tendencia también es en incremento.

Figura 6. 4. Cálculo estimado de asignación de CEL 's de 2019 a 2024.



Fuente: Elaboración propia con información de SENER Prospectiva del Sector Eléctrico 2015-2029, 2015.

Según las estimaciones tan solo por el consumo de energía se espera que en 2019 se asignen aproximadamente 16,371,599 certificados llegando a los 18,887,217 en 2024. Como ya es conocido esa misma cantidad se convierte en MWh, lo que representa un valor significativo de energía limpia producida. Cabe destacar que dichos CEL 's serán pagados por lo propios consumidores de esa energía (grandes industrias), lo cual se traduciría un traslado del costo variable del consumo de energía hacia un aumento en los costos de producción de bienes y servicios de estas empresas productoras.

Con el incremento del consumo de energía, la asignación de certificados a los participantes del Mercado necesariamente tendrá que crecer, esto supone un mayor desarrollo de Centrales Eléctricas Limpias o una mayor implementación de proyectos para aumentar la producción eléctrica en las ya existentes, sobre todo en Eólicas y Fotovoltaicas; lo que conllevaría un aumento en la capacidad de generación.

### 6.1.2 La importancia de los costos de operación en la rentabilidad de las Centrales Eléctricas con energías renovables

Los costos de operación resultan ser una variable determinante para que las Centrales con fuentes renovables sean más asequibles de desarrollar para los inversionistas, al margen de las subvenciones que puedan tener por parte del gobierno. La reducción de estos costos ha llegado a niveles equiparables a ciertas Centrales fósiles.

La reducción en los costos de operación también se ven afectados por la disminución del costo de algunos componentes tecnológicos de las Centrales eléctricas, como los pueden ser la manufactura de equipo renovable (generadores, torres, módulos solares, baterías, entre otros). Esto es una fortaleza que tiene el país, ya que ofrece condiciones atractivas a empresas proveedoras de estos insumos pertenecientes al sector de energías renovables (Pro México, 2014), encadenando con ello beneficios al mercado energético y experiencia tecnológica.

### 6.1.3 El desarrollo de Redes Eléctricas Inteligentes que establezcan las condiciones de interconexión para el aprovechamiento de energías renovables

Una parte fundamental para la integración de las FER es el desarrollo de proyectos que modernicen las redes de transmisión de energía. En la medida en que se sustituya tecnológicamente la red se podrán incorporar nuevos elementos que faciliten la conectividad en el SEN en sus diferentes procesos (generación, transmisión, distribución y consumo), y permita tener a su vez una relación más directa entre productor y consumidor.

Actualmente en el Programa de Redes Eléctricas Inteligentes se tiene planeado el despliegue de una serie de proyectos que abarcan diferentes aristas del funcionamiento del SEN al que se desea llegar. Aspectos como la automatización del Sistema Eléctrico, los sistemas de información y comunicación, transporte y almacenamiento energético, además de infraestructura de medición avanzada y monitoreo de calidad de energía, son algunos de los proyectos que cubre dicho programa. Necesariamente la implementación de cada uno de ellos tiene que estar acompañada de una evaluación de factibilidad y compatibilidad con el SEN actual.

Ahora bien, las tendencias recientes en REI a nivel mundial muestran un claro desarrollo e interés por parte de países que ven en las REI una solución integral a los retos del presente y futuro del sector eléctrico. Los principales desafíos técnicos y operativos que enfrenta el actual SEN y que se persiguen en el programa de REI son:

- Aumentar la calidad, confiabilidad, continuidad, seguridad y sostenibilidad del SEN.
- Incrementar a su vez la eficiencia energética y la eficiencia en la operación del Sistema.
- Reducir las pérdidas de energía en los diferentes procesos, principalmente en la transmisión.
- Agregar al Sistema un mayor porcentaje de Energías Limpias, cumpliendo con ello las metas contenidas en la LTE.
- Involucrar de forma más estrecha y activa a los usuarios del servicio eléctrico en términos de demanda controlable a un uso eficiente y ahorro de energía que conlleve también a una disminución de emisiones de CO<sub>2</sub> en el consumo energético.

Con la transformación de la red eléctrica actual hacia una red inteligente, las energías renovables tendrán ineludiblemente una mayor participación de acuerdo con la experiencia internacional. Esto es porque las redes inteligentes adaptan la intermitencia de las FER al Sistema Eléctrico debido a su arquitectura tecnológica basada en la transferencia de información y automatización del sistema.

En el caso de la energía eólica, por ejemplo, cuando una mayor producción energética se presente y sobresature algún nodo de la red, el operador de la red (CENACE) podría detener a conveniencia los aerogeneradores necesarios para estabilizar el Sistema y evitar desconectar otras Centrales Eléctricas, (Madina C. et al., 2011).

Entre los proyectos contenidos en el Programa de REI, la transmisión de energía en corriente directa y los Sistemas de Almacenamiento de Energía sobresalen por el nivel de importancia que tienen en los sistemas de energía que actualmente se están construyendo a nivel mundial.

## 6. INTEGRACIÓN DE LAS FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE AL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL BAJO EL DESARROLLO DEL MERCADO ELÉCTRICO MAYORISTA

### 6.1.3.1 Las proyecciones de construcción de líneas de transmisión en zonas con alto potencial de recursos energéticos renovables

En las zonas identificadas con alta disponibilidad de Energías Renovables se debe contar con una red de transmisión acorde al potencial de aprovechamiento, en términos de factibilidad técnica y económica. Es por ello que la SENER con el apoyo del CENACE ha planteado por lo pronto 2 proyectos de gran significancia en cuanto al desarrollo de infraestructura de transmisión con tecnología en corriente directa, que favorecerá la interconexión entre el SIN y el subsistema aislado de Baja California; y además el canal de transmisión en la zona oriental del SEN, con la Línea de Transmisión en Corriente Directa Istmo de Tehuantepec-Valle de México. Con éstas y otras obras de transmisión en corriente alterna, se conseguiría agregar más energía proveniente de Centrales Eólicas, Fotovoltaicas e Hidráulicas principalmente.

Tabla 6. 2. Obras de transmisión, Baja California-SIN

| Proyecto  | Línea de transmisión                           | Tecnología | Tensión [kV] | Longitud [Km-c] |
|---|--|------------|--------------|-----------------|
| Interconexión de Baja California al Sistema Interconectado Nacional | Seri - Cucapah                                 | CD         | 500          | 1,400           |
|   | Cucapah - Sánchez Taboada                      | CA         | 230          | 10              |
|   | Cucapah entronque Centenario - Sánchez Taboada | CA         | 230          | 2               |
|   | Cucapah entronque Wisteria-Cerro Prieto II     | CA         | 230          | 2               |
|   | Cucapah - Eólica Rumorosa                      | CA         | 400          | 170             |
|   | Eólica Rumorosa - La Herradura                 | CA         | 400          | 120             |
|   | La Herradura - Tijuana                         | CA         | 400          | 32              |
|   | Santa Ana - Nacozari                           | CA         | 400          | 160             |
| Total   |  |            |              | 1,896           |

Fuente: SENER (PRODESEN 2016-2030), 2016.

Tabla 6. 3. Obras de transmisión, Istmo de Tehuantepec-Valle de México (Oaxaca).

| Proyecto  | Línea de transmisión                 | Tecnología | Tensión [kV] | Longitud [Km-c] |
|---|--------------------------------------|------------|--------------|-----------------|
| Líneas de Transmisión en Corriente Directa Istmo de Tehuantepec-Valle de México | Yautepec Potencia - Ixtepec Potencia | CD         | +500         | 1260            |

Fuente: SENER (PRODESEN 2016-2030), 2016.

En el caso de Tamaulipas el cual cuenta con un gran potencial eólico, se tiene planeado también una Red de Transmisión, pero en corriente alterna, no obstante, con esta nueva red se agregarán 275 Km a la región noreste del SEN, aprovechando con ello el potencial de generación que posee Tamaulipas.

Tabla 6. 4. Obras de transmisión, Tamaulipas.

| Proyecto   | Línea de transmisión           | Tecnología | Tensión [kV] | Longitud [Km-c] |
|--|--------------------------------|------------|--------------|-----------------|
| Red de Transmisión para el Aprovechamiento de los Recursos Eólicos de Tamaulipas | Jacalitos - Regiomontano       | CA         | 400          | 180             |
|  | Reynosa Maniobras - Jacalitos  | CA         | 400          | 66              |
|  | Reynosa Maniobras - Aeropuerto | CA         | 400          | 29              |
| Total  |                                |            |              | 275             |

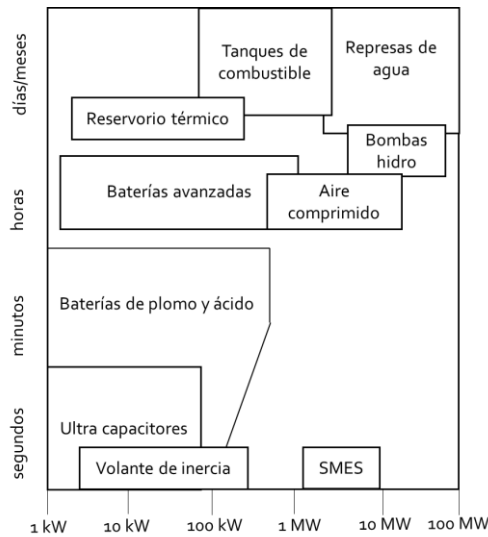
Fuente: SENER (PRODESEN 2016-2030), 2016.

**6.1.3.2 La inclusión de los Sistemas de Almacenamiento de Energía en el SEN para la disminución de la intermitencia de las FER**

Los Sistemas de Almacenamiento de Energía (SAE) han sido una de las tecnologías incipientes en el desarrollo de las redes inteligentes, pero cada vez han tenido una mayor relevancia en diferentes partes del mundo, principalmente Europa, con los Sistemas de Almacenamiento se podría mitigar la intermitencia de las fuentes renovables y con ello dotar de estabilidad y confiabilidad al SEN, entre otros servicios. En consecuencia, el Grupo de Trabajo de Almacenamiento de Energía del Consejo Consultivo de la Transición Energética, elaboró una propuesta de políticas públicas y programas, en la que recomienda prioritariamente la regulación, la promoción y el desarrollo tecnológico en la industria en un entorno sostenible.

La tecnología es la base del desarrollo de los Sistemas de Almacenamiento, las tendencias alrededor del mundo indican el camino que se tiene que seguir en cuanto al desarrollo de estos Sistemas, que a su vez es un componente más de las Redes Inteligentes. Las diversas tecnologías de almacenamiento tienen un impacto distinto en los Sistemas Eléctricos, en donde las variables técnicas y económicas dirimen el problema sobre uso.

*Figura 6. 5. Tiempo de Descarga vs. Capacidad de almacenamiento en distintos sistemas de almacenamientos de energía.*



Fuente: González G., 2013.

Las tecnologías de los SAE deberán ser focalizadas de acuerdo con el Grupo de trabajo, hacia los servicios y aplicaciones que presten estas tecnologías para el soporte y operación de la red. Se vislumbra que las baterías y las bombas hidro tendrán un mayor uso por estar más acorde a las Centrales Eléctricas que existen y que se planean construir.

Dado que es un tema incipiente en el Sistema Eléctrico mexicano, los SAE son ya un factor primordial para la integración de FER a nivel mundial. Los esfuerzos deben ser más incisivos si desea tener el Sistema Eléctrico planteado en la Reforma Energética, es decir confiable y eficiente, entre otras virtudes; y los SAE brindan esas características a los Sistemas Eléctricos.

#### 6.1.4 Los sistemas de información de potenciales de aprovechamiento de recursos energéticos utilizados como herramienta para la construcción de Centrales Eléctricas con FER

Para el desarrollo de proyectos que involucren el uso de FER es preciso contar con información que determine la disponibilidad aprovechable de estas fuentes, tanto la plataforma INERE como la AZEL, son herramientas desarrolladas para solventar esta parte fundamental al inicio de los proyectos. Con la localización más precisa de las zonas con el máximo potencial disponible la rentabilidad de estos proyectos aumentará paulatinamente y las probabilidades de éxito serán aún mayores.

Como parte de la metodología de EnergyPLAN se identificaron 6 lugares diferentes en los que se consideraba variaciones importantes de perfiles de viento y 2 lugares más con altos índices de irradiación solar, considerando también un escenario alto de aprovechamiento en ambos casos. De esta forma si se ubican en un mapa los lugares identificados y se contrastan con los escenarios calculados en ambas plataformas se obtienen los siguientes datos de capacidad y potencial de generación:

Tabla 6. 5. Datos del potencial de aprovechamiento de energía solar fotovoltaica de zonas seleccionadas con EnergyPLAN.

| Lugares EnergyPLAN | AZEL Escenario 3 <sup>35</sup> |                                 | INERE                     |                                 |
|--------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------|---------------------------------|
|                    | Capacidad instalable [MW]      | Potencial de generación [GWh/a] | Capacidad instalable [MW] | Potencial de generación [GWh/a] |
| Sonora             | 18,579                         | 33,639                          | 2,407.14                  | 5,152                           |
| Zacatecas          | 8,015                          | 15,326                          | 364.82                    | 0                               |

Fuente: AZEL e INERE, SENER.

Existen diferencias importantes entre los potenciales de aprovechamiento calculados entre ambas plataformas, mientras que para el Atlas los cálculos resultan ser más abundantes, para el Inventario las condiciones de capacidad instalable y de potencial de generación son menores e incluso nulas.

En concordancia con EnergyPLAN las zonas de estudio para el aprovechamiento de energía solar fotovoltaica fueron Sonora y Zacatecas ubicadas en la región Noroeste y Occidental del SEN respectivamente. Aunque Zacatecas no es uno de los estados con mayor potencial según el Atlas y el Inventario, recibe al día entre 14 y 27 [MJ/m<sup>2</sup>] (Vidal J., 2015), con este nivel de aprovechamiento las Centrales que se instalen en esa zona podrían ser rentables.

<sup>35</sup> Se eligió el escenario 3 definido en la metodología de evaluación de cada fuente realizada por SENER, debido a que ofrece condiciones más apropiadas para la construcción de Centrales Eléctricas de mayor capacidad de generación.

6. INTEGRACIÓN DE LAS FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE AL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL  
BAJO EL DESARROLLO DEL MERCADO ELÉCTRICO MAYORISTA

Figura 6. 6. Localización geográfica de lugares con disponibilidad de recursos eólicos por región del SEN.



Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al potencial eólico, las regiones seleccionadas con EnergyPLAN son zonas con altos niveles de aprovechamiento de acuerdo con las plataformas AZEL e INERE, aunque nuevamente los cálculos con INERE son inferiores con respecto al Atlas. No obstante, son regiones cuyo potencial es considerado por el CENACE para proyectar la construcción de nuevas Centrales Eléctricas en el corto y mediano plazo, de acuerdo con las Subastas.

Tabla 6. 6. Datos del potencial de aprovechamiento de energía eólica de zonas seleccionadas con EnergyPLAN.

| Lugares EnergyPLAN | AZEL Escenario 3          |                                 | INERE                     |                                 |
|--------------------|---------------------------|---------------------------------|---------------------------|---------------------------------|
|                    | Capacidad instalable [MW] | Potencial de generación [GWh/a] | Capacidad instalable [MW] | Potencial de generación [GWh/a] |
| Baja California    | 20,730                    | 12,599                          | 506.3                     | 1,678                           |
| Oaxaca             | 38,117                    | 36,535                          | 403                       | 1,356                           |
| Tamaulipas         | 69,713                    | 62,342                          | 1218.62                   | 4,118                           |
| Nuevo León         | 57,301                    | 61,062                          | 540                       | 1,776                           |
| Zacatecas          | 39,301                    | 23,356                          | 432.5                     | 0                               |
| Chihuahua          | 125,048                   | 46,680                          | 30                        | 93                              |

Fuente: AZEL e INERE, SENER.

De esta forma Tamaulipas por ejemplo es uno de los estados considerados en los proyectos de construcción de Centrales Eólicas en las Subastas de CENACE, y además cuenta con altos niveles de Capacidad instalable y Potencial de generación según el Atlas y el Inventario, por lo que también fue considerado en EnergyPLAN.

Figura 6. 7. Localización geográfica de lugares con disponibilidad de recursos eólicos por región del SEN.



Fuente: Elaboración propia.

Las Centrales proyectadas en regiones como Baja California, Oaxaca y Tamaulipas acompañadas con la construcción de líneas de transmisión son proyectos integrales para el aprovechamiento de fuentes renovables, principalmente Eólica y Fotovoltaica.

Finalmente, los sistemas de información como el Atlas o como el Inventario son esenciales en el desarrollo de proyectos de energías renovables, ya que sirven de base para las empresas generadoras y entidades de gobierno como el CENACE. Con ello las probabilidades de éxito en la rentabilidad de los proyectos crecen, lo que las convierte en un factor representativo para la integración de energía renovable al Sistema Eléctrico.

### 6.1.5 El uso de recursos financieros para la promoción de investigación y desarrollo a través de proyectos de innovación tecnológica

Con el Fondo de Sustentabilidad Energética se busca dar un mayor impulso al sector energético mexicano con la cobertura de 4 líneas estratégicas vinculadas a un entorno sustentable que son: eficiencia energética, fuentes renovables, uso de tecnologías limpias y diversificación de fuentes primarias de energía. La línea de fuentes renovables es la de mayor predominio, ya que, de acuerdo con las áreas temáticas del Fondo, el 94% de los proyectos apoyados están enfocados en energías renovables y tan solo el 1% en tecnologías limpias. Los proyectos en eficiencia energética y en diversificación de fuentes tienen una participación del 2% y 3% respectivamente. Esto se debe al monto de los Centros Mexicanos de Innovación en Energía Geotérmica, Solar y Eólico, (SENER FSE, 2014).

#### 6.1.5.1 El papel de los Centros Mexicanos de Innovación en Energía para la generación de conocimiento en energías renovables

Con la creación de los Centros Mexicanos de Innovación en Energía (CEMIE's), el sector energético mexicano tendrá un enorme crecimiento en cuanto a conocimiento científico y desarrollo tecnológico en el aprovechamiento de FER. La participación de diversas entidades y agrupaciones científicas y tecnológicas provenientes del sector privado, gobierno y académico, enriquece un aspecto fundamental para el desarrollo de las energías renovables, que es la generación de conocimiento.

## 6. INTEGRACIÓN DE LAS FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE AL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL BAJO EL DESARROLLO DEL MERCADO ELÉCTRICO MAYORISTA

Con la iniciativa de estos Centros se tendrá una base sólida para una mayor participación de estas fuentes en la generación de energía limpia y así lograr el objetivo para 2024. La participación del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), se basa en la gestión de los recursos financieros del gobierno enfocados al desarrollo de proyectos científicos y tecnológicos.

Los CEMIE's han tenido una inversión total desde 2013 cuando iniciaron, de \$ 1,968.25 millones de pesos provenientes del FSE, de los cuales el 82.7 % corresponde a la aportación gubernamental y el 17.29 % a inversión privada. Con este volumen de financiamiento se concentrarán esfuerzos en la asimilación, adopción y desarrollo de tecnologías, la innovación y la formación de capital humano especializado, (SENER FSE, 2014). Lo que se traduce en el desarrollo intangible de las energías renovables en general, que resulta necesario para la integración de éstas al SEN.

La cuantificación de capacidad y generación eléctrica adicional debido a este factor no es sencilla de calcular, sin embargo, cuando se trata de apoyo financiero con la condición de gestionarse y focalizarse de manera adecuada, es inevitable el permeo de los beneficios hacia las FER.

### 6.2 Factores que impiden la incorporación de energías renovables al Sistema Eléctrico Nacional (SEN)

Además de los factores que ayudan al desarrollo de las FER, existen circunstancias que hacen lo opuesto o impiden que éstas tengan el impulso deseado. Aunque son menos las causas que logran ese efecto, es importante identificarlas para poder revertir esa situación. Generalmente los factores adversos están relacionados con los altos costos de inversión y a la priorización que todavía tienen los combustibles fósiles en diferentes partes del mundo. En México, aunque la promoción de las FER ya ha tomado cierta relevancia, lo cierto es que como ya se ha mencionado todavía los combustibles fósiles representan una mayoría dentro de la matriz energética, no obstante, con la transición energética se espera se revierta dicha situación.

Necesariamente los combustibles fósiles estarán presentes por mucho tiempo dentro del sistema energético en cualquier parte del mundo por diversas razones (políticas, económicas y tecnológicas). Lo ideal es lograr un equilibrio para que puedan coexistir junto con las renovables en un lapso determinado y se alcance la sustentabilidad deseada. Bajo este panorama las directrices de la Reforma Energética en teoría buscan por un lado una mayor participación de FER, y por el otro propician el desarrollo y el impulso de la principal empresa del estado (PEMEX) que por muchos años ha sostenido gran parte del gasto corriente gubernamental. Todo lo que envuelve a PEMEX tiene que ver con la cadena de valor de Hidrocarburos, inherentemente las inversiones que se hagan alrededor de los petrolíferos muy probablemente vayan en detrimento del desarrollo de las FER.

Resulta comprensible la captación generalizada que tienen los Hidrocarburos en la mayor parte del mundo y especialmente en México porque es un recurso con cierto grado de abundancia, por lo que se ha convertido en un energético que tiene comprometida gran parte de las actividades económicas del país.

Beck F. definió a los subsidios para los combustibles fósiles como una de las barreras que impiden el desarrollo de las FER, ya que distorsionan los costos reales de capital o de inversión de estos energéticos y la decisión final que tiene los inversionistas por proyectos de generación energética se decante por fuentes fósiles, poniendo en desventaja a las energías renovables.



## 6. INTEGRACIÓN DE LAS FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE AL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL BAJO EL DESARROLLO DEL MERCADO ELÉCTRICO MAYORISTA

Situación que afortunadamente para los promotores de las renovables se está empezando a revertir y la tendencia indica que en algún punto del tiempo se estará en un escenario diferente al que se tiene actualmente. Mientras se alcance dicha situación, todavía se puede considerar que los incentivos que estimulen el uso de fuentes fósiles forman parte de los factores que impiden la integración de las fuentes renovables a los Sistemas de Energía en general.

*Tabla 6. 7. Matriz de factores que impiden integración de las Fuentes de Energías Renovables al SEN.*

| FACTORES QUE IMPIDEN LA INTEGRACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES AL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL |  |   |  |
|--|--|---|--|
|  | Infraestructura, tecnología y operación  | Económico, Financiero y Comercial   | Política Energética  |
| Incentivos implícitos  | El desarrollo de infraestructura para el transporte y almacenamiento de combustibles fósiles, a través de la EPE (PEMEX), y lo que representan los hidrocarburos para el desarrollo económico del país.  | Mayor inversión al desarrollo de infraestructura para proyectos de generación eléctrica con combustibles fósiles (gasoductos para plantas de ciclo combinado), lo que vuelve más rentables todavía a ciertas fuentes fósiles. | La Reforma Energética todavía da cierta prioridad al desarrollo de fuentes fósiles y su entorno dentro del sistema energético mexicano y por ende también incide sobre el SEN. |
|  | 4  | 5   | 4  |
| Costos de capital  | Es una variable que todavía es mayor con respecto a los costos de inversión de otras tecnologías fósiles, y por lo tanto son más atractivas en el corto plazo, las Centrales que utilizan estos combustibles y toda la infraestructura que la rodea. | Los costos de inversión son aún más elevados para desarrollar centrales eléctricas fotovoltaicas y/o eólicas, respecto a las centrales de ciclo combinado.  |  |
|  | 4  | 4   | -  |

*Fuente: Elaboración propia.*

# CAPÍTULO 7

## RESULTADOS Y CONCLUSIONES

En este capítulo final se describen los resultados y las conclusiones del análisis llevado a cabo en cuanto al desarrollo de proyectos de energía renovable en México bajo el nuevo enfoque de mercado de la industria eléctrica, en términos de su capacidad de generación con Centrales eólicas y fotovoltaicas. Asimismo, se determina la relevancia que tienen algunos factores identificados que ayudan a integrar más fuentes renovables al SEN, y con ello conseguir una disminución en las emisiones de CO<sub>2</sub> vinculadas a la generación eléctrica.

### 7.1 Resultados

Las estimaciones de capacidad de generación eléctrica con energía eólica y solar fotovoltaica dentro del SEN para 2024, se muestran en la siguiente tabla:

*Tabla 7. 1. Pronóstico de capacidad de generación eléctrica con Centrales eólicas y fotovoltaicas para 2024.*

| GW                   | SENER | EnergyPLAN |
|----------------------|-------|------------|
| Energía eólica       | 10.96 | 5          |
| Energía fotovoltaica | 4.07  | 15         |

*Fuente: Elaboración propia.*

Como se puede observar, los resultados son opuestos para cada tecnología, con EnergyPLAN hay una relación de tres a una de las Centrales fotovoltaicas respecto a las eólicas, caso contrario con los pronósticos de SENER que vaticinan poco más del doble de capacidad. No obstante, si se agrega la capacidad de generación que ya se tiene comprometida derivada de la primera y segunda subasta de largo plazo se puede estimar que la capacidad de generación con energía fotovoltaica tendrá un mayor crecimiento que la eólica. Esto aumentaría la posibilidad de que los cálculos de capacidad y generación con EnergyPLAN estarían más cerca de convertirse en un escenario real.

Si la dinámica de crecimiento de las energías renovables se mantiene en los próximos años, también se encontrará una tendencia estable en las emisiones de CO<sub>2</sub>, puesto que para 2024 habrá poco más del 35% de FER en la participación de la generación eléctrica en el país. Con ello las emisiones de CO<sub>2</sub> en 2024 alcanzarían los 135.55 millones de toneladas, apenas un crecimiento del 3.6% respecto a las emisiones de 2016 (130.76 MtCO<sub>2</sub>). Con ese porcentaje de participación en las emisiones totales, la generación eléctrica seguiría siendo la segunda fuente de emisión solo después del transporte (INECC, 2014).

Con relación a la generación y su expansión en la capacidad con FER, hay elementos o factores que favorecen su inclusión al SEN, de esta forma uno de los temas centrales en este trabajo fue la identificación de dichos factores que según con la información disponible se puede catalogar el grado de importancia que tiene cada factor dependiendo del nivel de impacto en la integración.

Analizando cada factor cualitativamente, se pudo definir los factores más sobresalientes en función de los parámetros establecidos en los que incidía. Por lo tanto, los CEL's representaron según su ponderación el factor con el mayor nivel de impacto en la integración de energías limpias al Sistema Eléctrico, puesto que son en teoría un instrumento eficiente de operación y comercialización de energía limpia dentro del MEM. Adicionalmente, las Redes Eléctricas resultaron tener un gran impacto en el desarrollo de infraestructura y tecnología porque gran parte de planeación dentro del SEN, involucra el aprovechamiento de FER priorizando a la eólica y fotovoltaica.

En general los factores de integración son las acciones concretas contenidas en la planeación de la política energética actual, cuyos resultados se palparán en el corto mediano plazo con la medición de sus indicadores correspondientes.

### 7.2 Conclusiones

Las bases de la Reforma Energética de 2013 son la transformación del sector energético y la detonación económica que le conlleva. Tomando como pilares a la industria petrolera y eléctrica, las actividades productivas según las estimaciones crecerán, dependiendo por muchos años más de ambas industrias, ya que son incluyentes entre sí. Con la apertura de un mercado de energía las inversiones privadas pueden impulsar al sector, logrando un aprovechamiento eficiente de los recursos sin comprometer negativamente el futuro de las siguientes generaciones. Es ahí donde las energías renovables toman una mayor trascendencia al ofrecer menos repercusiones negativas hacia el ambiente. Por esta razón esta tesis se centró en el estudio del desarrollo de proyectos con estas fuentes y sus implicaciones de uso dentro del Sistema Eléctrico, por ende, se pudo cumplir con el principal objetivo.

Con respecto a la transición energética y a las metas y objetivos ligados a ella, todas las actividades dentro de la industria eléctrica que tengan que ver con la generación de energía y a las emisiones de CO<sub>2</sub> por consecuencia, han sido abordadas en las estrategias de planeación energética por la SENER, y en ese sentido el análisis de los pronósticos y tendencias de estas variables a través del tiempo, sirven para dirigir las acciones actuales y empatarlas con los escenarios calculados.

Además, los factores de integración identificados son una muestra de que los objetivos planteados en la Reforma Energética de 2013 son cada vez más factibles de realizarse. Para ello es necesario que todos los involucrados en el sector energético cumplan las funciones que le corresponden, tanto las dependencias de gobierno, empresas privadas y entidades académicas, que son parte fundamental para lograr la transición esperada. Los planteamientos en los planes, programas y líneas de acción diseñados por la SENER específicamente para la industria eléctrica tienen en común el desarrollo de un Sistema Eléctrico que posea las características para las cuales fue diseñado el SEN. Bajo estos parámetros, el proceso de planeación es un componente fundamental de toda política energética porque de ello dependerá el éxito de la Reforma. Indistintamente de la estrategia metodológica que se use en el proceso de planeación, los elementos que lo fundamentan deben ser coincidentes, ya que de ellos depende la situación inicial de la que se parte y de la ruta que se tiene que seguir para poder llegar al estado deseado.

El uso de fuentes alternativas de energía es ya una realidad, las tendencias mundiales es que el uso de estas fuentes tendrá cada vez una mayor participación en la matriz energética, la apuesta en muchos países europeos principalmente es cada vez más ambiciosa por el uso de estas fuentes, de no ser de esta forma los estragos ambientales serían cada vez más inconmensurables hasta llegar una degradación todavía aún mayor a los actuales efectos que presenta el ambiente por las emisiones de gases contaminantes.

Por último, los grandes esfuerzos dirigidos al sector energético en los diferentes ámbitos traerán como consecuencia un cambio inédito en la forma en cómo se concibe la energía a nivel mundial, cada vez se tiene un acceso más directo entre el consumidor y las tecnologías de conversión energética, prescindiendo con ello de los grandes sistemas de energía; y estos cambios solo se conseguirán si se hace un uso más intensivo de estas fuentes renovables de energía y superando las barreras existente hasta ahora. Aunque, la transición será paulatina por lo que no se podrá prescindir de una base de Centrales de generación que de estabilidad y seguridad a los sistemas de energía, como lo son las Centrales Hidráulicas, Nucleares o de Ciclo Combinado.

# REFERENCIAS

- Agencia Internacional de Energía (AIE), 2016. *CO<sub>2</sub> Emissions from fuel combustion, Highlights Statics*.
- Asociación Mexicana de Energía, 2015.  
<<http://asociacionmexicanadeenergia.com.mx/>>
- Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMDEE), 2014.  
<<http://www.amdee.org/>>
- Barrero F., 2004. *Sistemas de energía eléctrica*. Ed. Thomsom, Paraninfo.
- Beck, F., 2004. *Renewable Energy Policies and Barriers*. Renewable Energy Policy Project, Washington, D.C., United States.
- Castillo D., 2014. *Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero en el área de energía en Ciudad Universitaria*. UNAM. Ciudad Universitaria.
- Centro Nacional de Control de Energía (CENACE, 2017).  
<<http://www.cenace.gob.mx/Paginas/Publicas/Cenace/QuienesSomos.aspx>>
- Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE), 2016.  
<<http://www.gob.mx/conuee/>>
- Comisión Federal de Electricidad (C.F.E.), 2014. *Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico 2014-2028 (POISE)*.
- Comisión Reguladora Energía (C.R.E), 2016. *Retos y oportunidades de la Comisión Reguladora de Energía en la implementación de la Reforma Energética*.
- Comisión Reguladora Energía (C.R.E), 2016. *Tabla de permisos de generación e importación de energía eléctrica administrados al 31 de agosto de 2016*.
- Coordinación de Comunicación Social y Vocería del Gobierno de la República, 2015. *En Línea con las Reformas en acción. Reforma Energética*, número especial 02, 06 de noviembre de 2015.
- Creus A. 2014. *Energías Renovables*. Segunda Edición, Bogotá Colombia, marzo 2014. ISBN.
- Energy Innovation, 2015. *Comparing the costs of renewable and conventional energy sources*. February 7, 2015.
- Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE), 2012.  
<<http://fide.org.mx/>>

- Gascó M., 2015. *Integración de Energías Renovables en Redes Eléctricas Inteligentes*. Universidad de Alicante. Tesis doctorales.
- Gómez J. et al., 2013. *Redes Eléctricas Inteligentes. Un espacio para las fuentes renovables de energía*. Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente, Facultad de Ingeniería, Universidad de Cienfuegos, Cuba.  
<<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energia/Energia62/HTML/Articulo06.htm>>
- González G., 2013. *Almacenamiento de energía magnética por superconducción*. Universidad Tecnológica de Panamá. Prisma Tecnológico | Vol. 4, n.º 1, edición 2013.
- Huacuz J., 2015. "La biomasa en la transición energética de México" Boletín IIE abril-junio 2015.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático INECC, 2014. *COMPROMISOS DE MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO PARA EL PERIODO 2020-2030*.
- International Energy Agency OECD/IEA, 2016, 2016. *Key world energy statistics*, 9, rue de la Fédération 75739 Paris Cedex 15.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2016. PIB y Cuentas Nacionales de México.  
<<http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/cn/igae/default.aspx>>
- IPCC, (AR5) Climate Change 2013. The Physical Science Basis Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC, 2006a. *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*. Volumen 2. Energía
- IPCC, 2011. Informe Especial del Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático. Informe especial sobre fuentes de energía renovables y mitigación del cambio climático.
- ITES, 2012. *La red de distribución de energía eléctrica*.  
[http://es.slideshare.net/victorpaguay/la-red-de-distribucion-de-energaelctrica?next\\_slideshow=1](http://es.slideshare.net/victorpaguay/la-red-de-distribucion-de-energaelctrica?next_slideshow=1)
- ITESM, 2016. *La reestructura en CFE y los nuevos actores en planeación y control (SENER y CENACE)*. "Laboratorio Binacional para la Gestión Inteligente de la Sustentabilidad Energética y la Formación Tecnológica", con financiamiento del Fondo de Sustentabilidad Energética CONACYT-SENER.
- Ledesma P., 2008. *Regulación de frecuencia y potencia*. Universidad Carlos III de Madrid. 21 de septiembre de 2008.
- Ley General de Cambio Climático, 2016. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Última reforma publicada Diario Oficial de la Federación 01-06-2016.
- Ley de la Industria Eléctrica. Diario Oficial de la Federación, 11 de agosto de 2014

- Lund H., 2015. *EnergyPLAN Advanced Energy Systems Analysis Computer Model Documentation Version 12*. Sustainable Energy Planning Research Group, Aalborg University, Denmark
- Madina C. et al., 2011. *Las nuevas redes eléctricas inteligentes, su medida y gestión de la demanda*. TECNALIA. Unidad de Energía. Parque Tecnológico de Bizkaia, Ed.700.
- Masera O. 2010. *Patrones de uso de leña en México: situación actual y perspectivas a largo plazo*.
- Muciño F., 2015. *¿Se aproxima el 'boom' de la energía solar? Forbes Negocios, 1 de enero 2015*. <<http://www.forbes.com.mx/se-aproxima-el-boom-de-la-energia-solar/#gs.XWl5rx0>>
- Organización Meteorológica Mundial (OMM), 2015. *El promedio mundial de CO2 alcanza las 400 partes por millón en 2015*. 24 de octubre 2016. <<https://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/el-promedio-mundial-de-co2-alcanza-las-400-partes-por-mill%C3%B3n-en-2015>>
- Pro México, 2014. Sector de Energías renovables en México. <[http://mim.promexico.gob.mx/swb/mim/Perfil\\_del\\_sector\\_erenovables/\\_lang/es](http://mim.promexico.gob.mx/swb/mim/Perfil_del_sector_erenovables/_lang/es)>
- Secretaría de Energía SENER, 2010. Sistema de Información Energética (SIE). Sector Energético. <<http://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=temas>>
- Secretaría de Energía SENER FSE, 2014. *Fondo de Sustentabilidad Energética*.
- Secretaría de Energía SENER, 2015. *Inventario Nacional de Energías Renovables (INERE)*. <<https://dgel.energia.gob.mx/inere/>>
- Secretaría de Energía SENER, 2012. *Prospectiva de Energías Renovables 2012-2026*.
- Secretaría de Energía SENER, 2015. *Prospectiva del Sector Eléctrico 2015-2029*.
- Secretaría de Energía SENER, 2015. *Bases del Mercado Eléctrico*. Diario Oficial, Cuarta Sección, 8 de septiembre de 2015.
- Secretaría de Energía SENER, 2015. *Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional PRODESEN 2015-2029*.
- Secretaría de Energía SENER, 2016. *Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional PRODESEN 2016-2030*.
- Secretaría de Energía SENER, 2016. *Estrategia de Transición para Promover el uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios*.
- Secretaría de Energía SENER, 2016. *Prospectiva de Energías Renovables 2016-2030*.
- Secretaría de Energía SENER, 2016. *Programa de Redes Eléctricas Inteligentes 2016*.

- Secretaría de Energía SENER, 2016. *Manual de Mercado de Energía de Corto Plazo*. Diario Oficial, Segunda Sección, 17 de junio de 2016.
- Secretaría de Energía SENER, 2017. *AVISO por el que se da a conocer los requisitos para la adquisición de Certificados de Energías Limpias en 2020, 2021 y 2022 establecidos por la Secretaría de Energía*.
- Secretaría de Energía SENER, 2017. Atlas Nacional de Zonas con Alto Potencial de Energías Limpias (AZEL).  
< <https://dgel.energia.gob.mx/AZEL/>>
- Secretaría de Energía SENER, 2017. Balance Nacional de Energía 2016. Subsecretaría de Planeación y Transición Energética, Dirección General de Planeación e Información Energéticas. México 2017.
- Secretaría de Relaciones Exteriores SRE, 2015. *México participa en COP21 con postura de vanguardia y liderazgo*. 27 de noviembre de 2015.  
<<https://www.gob.mx/sre/articulos/mexico-participa-en-cop21-con-postura-de-vanguardia-y-liderazgo>>
- Siemens, 2014. Power Matrix  
<<https://www.energy.siemens.com/nl/en/energy-topics/energy-stories/power-matrix.htm>>
- Vidal J., et al. 2015. *Optimal energy mix for transitioning from fossil fuels to renewable energy sources – The case of the Mexican electricity system*. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ingeniería, Aalborg University, Vestre Havnepromenade 9, 9000 Aalborg, Denmark.
- World Energy Council 2013. *World Energy Perspective Cost of Energy Technologies*. Regency House1–4 Warwick Street London W1B 5LT United Kingdom.